Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Министерство сельского хозяйства Иркутской области

ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского



XII Национальная научно-практическая конференция с Международным участием «Чтения И.П. Терских», Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК

1–2 октября 2026 года

УДК 631.3
ББК 40.7
А 437

Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XII Национальной научно-практической конференции с Международным участием «Чтения И.П. Терских» / редкол.: М.К. Бураев [и др.] – Молодёжный : Иркутский ГАУ, 2026. – 405 с.

В материалах XII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских» публикуются работы авторов по разным тематикам: проблемы развития агроинженерных систем и технологий, математические и информационные технологии решения прикладных задач, совершенствование подготовки агроинженерных кадров.

Редакционная коллегия:
Бураев М.К. – профессор кафедры ТС и ОД Иркутского ГАУ;
Ильин П.И. – заведующий кафедрой ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ;
Шистеев А.В. – заведующий кафедрой ТС и ОД Иркутского ГАУ;
Аносова А.И. – доцент кафедры ТС и ОД Иркутского ГАУ.

Ответственный за сбор материалов конференции:
Ильин П.И. – заведующий кафедрой ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ.

Компьютерная верстка – **Ильин П.И.**

© Коллектив авторов, 2026
© Иркутский ГАУ, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ

Н.Н. Бережнов, А.П. Сырбаков Курсовая устойчивость колёсного транспортного агрегата в условиях интенсивного колееобразования 11

В.В. Бидогаев, С.Н. Шуханов, А.В. Косарева Анализ методов исследования процессов мойки корнеклубнеплодов 22

А.Ц. Будажапов, Ц.В. Цэдашиев Человеческий фактор и техническое состояние тормозной системы как ключевые элементы активной безопасности автомобиля 27

Е.Р. Бучинский, В.А. Сенников Состояние производства картофеля в амурской области и теоретическое обоснование дополнительного очищающего устройства картофелекопателя 32

В.П. Друзьянова, А.А. Захарова, Н.В.Петров Анализ существующих математических моделей процессов анаэробного сбраживания применительно к переработке смеси конского навоза и куриного помета 39

А.А. Волков, Д.С. Шишлов, С.А. Филонов, А.А. Бутенко, Е.Е. Кузнецов Экспериментальное подтверждение эффективности применения устройства по перераспределению сцепного веса автопоезда 45

А.В. Еранский, Г.М. Бураева К оценке производственной площади ремонтной мастерской ООО «Юник» 51

В.Д. Коваливнич, А.В. Кузьмин Испытания клубней на устойчивость к повреждениям 56

В.Д.Коваливнич, А.Р. Сухаева, М.Б. Балданов Совершенствование дизелей с гомогенным зарядом как способе снижения токсичности выпускных газов 61

Т.И. Кривцова, Р.П. Шубин Динамика изменения физико-химических показателей низкозамерзающих жидкостей в процессе эксплуатации автомобиля 66

И.А. Лонцева, Д.М. Курдюмова Обзор режущих аппаратов жатки для прямого комбайнирования 74

В.В. Мазур, Л.А. Мазур Глубокое рыхление междурядий, как приём оптимизации агрофизических свойств почвы и повышения урожайности кукурузы на зерно 81

Л.А. Мазур Повышение эффективности междурядной обработки сои за счёт систем технического зрения и автоматического управления 85

А.О. Нератов, В.П. Друзьянова, Н.В. Петров Рекомендации по разработке унифицированного суммарного индекса превышения пдк (СИП) для оценки микроклимата скотопомещений Якутии 90

Н.И. Овчинникова, М.А. Быкова Реализация принципа Парето в сельскохозяйственных технологических системах 97

В.В. Пальвинский, С.Н. Ильин, А.А. Бричагина, Ф.А. Васильев, В.Н. Серых Применение лазерных технологий в АПК 104

В.В. Пальвинский, В.Н. Хабардин, П.Д. Петрова Оссобенности эксплуатации дождевальной машины кругового действия Irritech 8120 113

И.С. Потапов Обоснование конструктивных параметров перемешивающего устройства в малогабаритных биогазовых установках 120

О.И. Самбарова, Ц.В. Цэдашиев Влияние частоты вращения электродвигателя на показатели процесса измельчения корнеклубнеплодов 126

О.И. Самбарова, А.Ц. Будажапов, Н.О. Шелкунова Вихревые аэродинамические технологии послеуборочной обработки зерна: конструктивные, теплофизические и эксплуатационные аспекты 133

В.Н. Хабардин, В.В. Пальвинский Шланговый дождеватель сельскохозяйственных культур: особенности его конструкции и применения по назначению 139

Д.С. Шишлов, Д.В. Беляков, В.А. Чуванов, А.А. Бутенко, Е.Е. Кузнецов Математическое обоснование силовых величин, воздействующих на элементы конструкции транспортного агрегата в повороте при установке догружающе-распределяющего устройства 148

Ц.В. Цэдашиев, С.Н. Шуханов Структуризация и принцип функционирования зерносушилок 153

Секция 2. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС И МОДЕРНИЗАЦИЯ МАШИН В АПК

С.В. Агафонов, А.В. Косарева, А.И. Аносова Упрочнение деталей с.-х. техники методом нитроцементации в модернизированной печи 159

Е.А. Блохин, М.К. Бураев, В.А. Беломестных Наплавка стрельчатой лапы 164

П.А. Болоев, Е.В. Елтошкина, Т.В. Бодякина Наноразмерные датчики для газоанализаторов автотракторных двигателей 170

П.А. Болоев, С.Н. Шуханов, С.В. Агафонов Аналитические исследования режимов прогрева двигателя 176

Т.Л. Горбунова, А.А. Зайцев Кинематический расчёт центробежного регулятора тракторного дизеля 181

П.И. Ильин, О.И. Самбарова, Ц.В. Цэдашиев Диагностирование двигателя внутреннего сгорания по моменту сопротивления прокручиванию коленчатого вала: теоретические и прикладные аспекты 185

Д.М. Коновалов, Р.Р. Гоненко Разработка измерительной системы стенда для определения характеристик шин средств индивидуальной мобильности 192

М.Ю. Копылова, М.И. Напортович Разработка бортовой системы контроля параметров моторного масла автотранспортных средств методом диэлектроскопии 198

Р.И. Курбанов, Ц.В. Цэдашиев, П.И. Ильин Современные методы и системы диагностирования машин и оборудования в АПК: обзор и анализ 205

А.Ф. Курносов Информационная самодостаточность методов оперативного диагностирования двигателей 211

Г.А. Кочнев, А.Е. Турушев Современные подходы к безразборной диагностике двигателей внутреннего сгорания 218

И.А. Лончаков, М.В. Чубарева Экспериментальное исследование теплоизоляционных свойств многослойных термочехлов для сельскохозяйственной техники 225

Е.И. Любимова, Ц.В. Цэдашиев, П.И. Ильин Экспертная оценка факторов, определяющих эффективность технического сервиса сельскохозяйственных машин 230

С.П. Матяш, А.Е. Малинина, В.А. Крум Предиктивный мониторинг технического состояния двигателей внутреннего сгорания мобильных энергетических средств методами искусственного интеллекта 238

О.А. Свирбутович Анализ исследований и разработок технологических процессов изготовления биоконсистентных смазок 243

А.П. Сырбаков, Н.Н. Бережнов Повышение пусковой надёжности ДВС в зимних условиях путём аккумулирования тепла АКБ 250

А.А. Чубов, А.А. Копылов, Г.В. Павлюков, С.Н. Кривцов Динамика изменения плотности и вязкости моторного масла в течение межсервисного пробега автобусов 257

А.В. Шистеев, Д.Д. Паньков, М.К. Бураев К расчёту износа вкладышей подшипников скольжения ДВС в условиях абразивной среды 264

Секция 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Ю.А. Алексеева, И.В. Козуб, М.А. Алексеева Цифровая цепочка от современных технологий переработки молока до «Честного знака» 271

А.А. Моисеева, Ю.А. Алексеева Технология производства сыра Качотта с лисичками 277

Секция 4. ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АПК

А.С. Герсе, Э.С. Шабаева Применение высокоавтоматизированных технологий в энергетике 284

Секция 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОБИЗНЕСЕ

Я.М. Иваньо, А.А. Слаута Особенности моделирования процессов олучения продукции на залежных землях 291

Я.М. Иваньо, С.А. Борик Модели оптимизации машинно-тракторного парка 298

Секция 6. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Т.А. Алтухова Мотивы обучения студентов в ВУЗе 312

А.В. Анненкова Технология *scaffolding* при обучении студентов направления агроинженерия английскому языку 318

Т.И. Афанасьева, В.П. Друзьянова Современное состояние научных исследований на инженерном факультете ФГБОУ ВО «Арктический государственный аграрный университет» 324

Т.В. Бодякина, Е.В. Елтошкина Модель кадрового суверенитета АПК 332

М.Ю. Бузунова Научные исследования как активатор качества преподавания, естественно-научных, дисциплин 339

С.П. Голышева Оценка состояния и перспективы цифровой зрелости АПК 344

Ю.Ю. Клибанова, А.В. Анненкова Междисциплинарное обучение: интеграция физико-технического содержания и иностранного языка через призму *ESP*, *CLIL* и *EMI* 351

Н.В. Степанов, А.А. Бричагина, А.А. Бричагин Применение тестов на соответствие при промежуточной аттестации студентов агроинженеров 357

А.Р. Сухаева Проблемное обучение как метод повышения практической значимости учебной дисциплины у студентов 363

Т.В. Факторович Проблемы преподавания дисциплины «Русский язык и культура речи» студентам агроинженерных направлений 367

В.М. Хантакова, С.В. Швецова Роль и место интегративного подхода в обучении иностранному языку в неязыковом ВУЗе 371

О.Н. Хороших Роль преподавателя в подготовке водителей транспортных средств на фоне онлайн обучения 376

М.В. Чубарева, С.С. Соколова Исследование влияния игровых методов обучения на учебную мотивацию студентов 380

С.В. Швецова, В.М. Хантакова Английский язык для специальных целей в обучении студентов инженерных специальностей 386

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Т.В. Бодякина, М.К. Бураев От студента до профессора: этапы большого пути (к 80-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Болоева Петра Антоновича) 391

С.А. Сайванова Путь к вершинам науки: история успеха (к юбилею Заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, доктора ветеринарных наук, профессора Ильиной Ольги Петровны) 397

CONTENTS

Section 1. INDUSTRIAL AND TECHNICAL OPERATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES AND COMPLEXES

N.N. Berezhnov, A.P. Syrbakov Course stability of a wheeled transport unit under conditions of intense ground compaction 11

V.V. Bidogaev, S.N. Shukhanov, A.V. Kosareva Analysis of research methods for root crops washing processes 22

A.Ts. Budazhapov, Ts.V. Tsedashiev Human factor and technical condition of the brake system as key elements of active vehicle safety 27

E.R. Buchinsky, V.A. Sennikov The state of potato production in the Amur region and theoretical substantiation of an additional cleaning device for a potato digger 32

V.P. Druzianova, A.A. Zakharova, N.V. Petrov Analysis of existing mathematical models of anaerobic digestion processes for the treatment of a mixture of horse manure and poultry manure 39

A.A. Volkov, D.S. Shishlov, S.A. Filonov, A.A. Butenko, E.E. Kuznetsov Experimental confirmation of the distribution of the coupling weight of a road train 45

A.V. Eransky, G.M. Buraeva To the assessment of the production area of the repair shop of LLC “Unik” 51

V.D. Kovalivnich, A.V. Kuzmin Tests of tubers for stability on a simulator 56

V.D. Kovalivnich, A.R. Sukhaeva, M.B. Baldanov Improvement of homogeneous-charge diesel engines as a way to reducing exhaust gases toxicity 61

T.I. Krivtsova, R.P. Shubin Dynamics of changes in physicochemical properties of antifreezes during vehicle operation 66

I.A. Lontseva, D.M. Kurdyumova Review of cutting units of headers for direct combining 74

V.V. Mazur, L.A. Mazur Deep rolling of inter row space as a method for optimizing the agrophysical properties of soil and increasing the yield of grain corn 81

L.A. Mazur Improving the efficiency of inter-row soybean cultivation using machine vision and automatic control systems 85

A.O. Neratov, V.P. Druzianova, N.V. Petrov Recommendations for developing a unified summary index of permissible-limit exceedance (SIP) for assessing the microclimate of cattle barns in Yakutia 90

N.I. Ovchinnikova, M.A. Bykova Application of the Pareto principle in agricultural technological systems 97

V.V. Palvinsky, S.N. Ilyin, A.A. Brichagina, F.A. Vasiliev, V.N. Serykh Laser technology in agricultural industries 104

V.V. Palvinsky, V.N. Khabardin, P.D. Petrova Operational features of the Irritech 8120 center pivot irrigation machine 113

I.S. Potapov Substantiation of the design parameters of the mixing device in small sized biogas plants 120

O.I. Sambarova, Ts.V. Tsedashiev Influence of electric motor rotational speed on the performance indicators of the root and tuber crop grinding process 126

O.I. Sambarova, A.Ts. Budazhapov, N.O. Shelkunova Vortex aerodynamic technologies of post-harvest grain processing: constructional, thermophysical and operational aspects 133

V.N. Khabardin, V.V. Palvinsky Agricultural hose sprinkler cultures: features of its construction and intended use 139

D.S. Shishlov, D.V. Belyakov, V.A. Chuvanov, A.A. Butenko, E.E. Kuznetsov Mathematical justification of force values acting on the structural elements of a transport unit in a turn when a load-distributing device is installed 148

Ts.V. Tsedashiev, S.N. Shukhanov Structural design and operating principle of grain dryers 153

Section 2. TECHNICAL SERVICE AND MODERNIZATION OF MACHINES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

S.V. Agafonov, A.V. Kosareva, A.I. Anosova Nitrotsementatsiya izdeliy v modernizirovannoy pechi 159

E.A. Blokhin, M.K. Buraev, V.A. Belomestnykh Hardfacing of a sweep-type cultivator share 164

P.A. Boloev, E.V. Eltoshkina, T.V. Bodyakina Nano-scale sensors for automotive tractor engine gas analyzers 170

P.A. Boloev, S.N. Shukhanov, S.V. Agafonov Analytical studies of engine warm-up modes 176

T.L. Gorbunova, A.N. Zaitsev Kinematic calculation of the centrifugal governor of a tractor diesel engine 181

P.I. Ilyin, O.I. Sambarova, Ts.V. Tsedashiev Diagnosing an internal combustion engine by crankshaft cranking resistance torque: theoretical and applied aspects 185

D.M. Konovalov, R.R. Gonenko Development of a measuring system for a test bench to determine the characteristics of tires for personal mobility devices 192

M.Y. Kopylova, M.I. Naportovich Development of an on-board system for monitoring engine oil parameters of motor vehicles by dielectroscopy 198

R.I. Kurbanov, Ts.V. Tsedashiev, P.I. Ilyin Modern methods and systems for diagnosing machines and equipment in the agro-industrial complex: review and analysis 205

A.F. Kurnosov Information self-sufficiency of methods for rapid engine diagnostics 211

G.A. Kochnev, A.E. Turushev Modern approaches to non-destructive diagnostics of internal combustion engines 218

I.A. Lonchakov, M.V. Chubareva Experimental study of the thermal insulation properties of multi layer thermo covers for agricultural machinery 225

E.I. Lyubimova, T.V. Tsedashiev, P.I. Ilyin Expert evaluation of factors determining the efficiency of technical service of agricultural machines 230

S.P. Matyash, A.E. Malinina, V.A. Krum Predictive monitoring of the technical condition of internal combustion engines of mobile power units using artificial intelligence methods 238

O.A. Svirbutovich Analysis of research and development into manufacturing processes for biocompatible lubricants 243

A.P. Syrbakov, N.N. Berezhnov Improving the cold-start reliability of internal combustion engines in winter conditions by storing heat in the battery 250

A.A. Chubov, A.A. Kopylov, G.V. Pavlyukov, S.N. Krivtsov Dynamics of changes in the density and viscosity of engine oil during the service interval of buses 257

A.V. Shisteev, D.D. Pankov, M.K. Buraev, S.N. Krivtsov Calculation of sliding bearing wear in abrasive environments 264

Section 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PRODUCTION AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Y.A. Alekseeva, I.V. Kozub, M.A. Alekseeva A digital chain spanning from modern milk processing technologies to the "Chestny znak" system 271

A.A. Moiseeva, Y.A. Alekseeva Technology of producing Caciotta cheese with likvichki 277

Section 4. ENERGY, ENERGY AND RESOURCE CONSERVATION IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

A.S. Gerse, E.S. Shabaeva The use of high-automation technologies in the energy industry 284

Section 5. INFORMATION TECHNOLOGIES IN AGRIBUSINESS

Ya.M. Ivanyo, A.A. Slauta Specifics of modeling production processes on fallow lands 291

Ya.M. Ivanyo, S.A. Borik Optimization models for machine and tractor fleets 298

Section 6. IMPROVING THE TRAININGOF AGROENGINEERING PERSONNEL

T.A. Altukhova Motives for students' learning at a university 312

A.V. Annenkova Instructional scaffolding in teaching enfglish to students of agricultural engineering 318

T.I. Afanasyeva, V.P. Dryuzyanova Current state of research at the faculty of engineering of the arctic state agrotechnological university 324

T.V. Bodyakina, E.V. Eltoshkina A model of workforce sovereignty in the agro-industrial complex 332

M.Yu. Buzunova Scientific research as a driver of teaching quality in natural science disciplines 339

S.P. Golysheva Assessment of the state and prospects of digital maturity of the agricultural sector of the economy 344

Yu.Yu. Klibanova, A.V. Annenkova Interdisciplinary teaching: integrating physics and technical content with a foreign language through ESP, CLIL, and EMI 351

N.V. Stepanov, A.A. Brichagina, A.A. Brichagin Application of compliance tests in the interim certification of agricultural engineering students 357

A.R. Sukhaeva Problem-based learning as a method for increasing the practical significance of academic disciplines for students 363

T.V. Faktorovich Challenges in teaching the course "Russian language and speech culture" to agro-engineering students 367

V.M. Khantakova, S.V. Shvetsova The role and place of an integrative approach in teaching a foreign language in a non-linguistic university 371

O.N. Khoroshikh The role of the educator in driver training in the context of online learning 376

M.V. Chubareva, S.S. Sokolova A study of the impact of game-based learning meth-ods on students' academic motivation 380

S.V. Shvetsova, V.M. Khantakova English for specific purposes in the education of engineering students 386

MEMORABLE DATES

T.V. Bodyakina, M.K. Buraev From student to professor: stages of a long journey (Marking the 80th anniversary of the birth of doctor of technical sciences, professor Petr Antonovich Boloev) 391

S.A. Saivanova The path to the pinnacle of science: a success story (Marking the anniversary of Olga Petrovna Ilyina, honored worker of higher education of the Russian Federation, doctor of veterinary sciences, and professor) 397

УДК 631.372:629.114.2.073

КУРСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЁСНОГО ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ

Н.Н. Бережнов, А.П. Сырбаков

ФГБОУ ВО Кузбасский ГАУ
Кемерово, Россия

Аннотация. На основе полевых испытаний тракторного поезда (МТЗ-80+2ПТС-4М) разработана модель оценки его курсовой устойчивости при движении по деформируемым агрофонам. Установлено, что асимметричное колееобразование и рост сопротивления перекатыванию создают возмущающий момент складывания звеньев. Преодоление сопротивлений вызывает буксование колёс трактора до 35,2 %, снижая сопротивление боковому уводу ведущего моста более чем на 30 %. По критерию Гурвица определён критический скоростной порог автоколебаний (6,5-7,2 м/с), накладывающийся на рабочий диапазон скоростей агрегата.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, курсовая устойчивость, управляемость, колееобразование, сопротивление перекатыванию, буксование, боковой увод, критическая скорость, автоколебания.

COURSE STABILITY OF A WHEELED TRANSPORT UNIT UNDER CONDITIONS OF INTENSE GROUND COMPACTION

N.N. Berezhnov, A.P. Syrbakov

FSBEI HE Kuzbass state agrarian university
Kemerovo, Russia

Annotation. Based on field tests of a tractor-trailer unit (MTZ-80+2PTS-4M), a model for assessing directional stability on deformable soils was developed. Asymmetrical rutting and increased rolling resistance generate a disturbing yaw moment. Overcoming draft forces leads to tractor wheel slip of up to 35,2 %, reducing rear axle cornering stiffness by over 30 %. Using the Hurwitz criterion, the critical self-oscillation speed threshold (6,5-7,2 m/s) was found to overlap the unit's operating speed range.

Key words: machine-tractor unit, directional stability, controllability, rut formation, rolling resistance, wheel slip, tire cornering, critical speed, self-oscillations.

Значительный объём технологических перевозок в сельском хозяйстве (до 40 %) выполняется тракторными транспортными агрегатами [1, 3]. Использование колёсных тракторов обусловлено их универсальностью, меньшими эксплуатационными расходами и высокими транспортными скоростями [3, 7]. Однако движение агрегатов по сельскохозяйственным фонам сопровождается интенсивным колееобразованием, переуплотнением почвы и буксованием [2, 9].

В современных исследованиях оценка тягово-энергетических показателей агрегата и его агротехнической проходимости часто рассматриваются изолированно [1, 2, 8, 12]. При этом производительность тракторных поездов ограничивается не только тягово-сцепными свойствами, но и параметрами управляемости

[1, 13]. Образование глубокой колеи и значительное сопротивление перекатыванию вызывают асимметричные тяговые нагрузки на крюке трактора, что напрямую снижает курсовую устойчивость агрегата и требует от оператора постоянной корректировки траектории [7, 10]. Целью данного исследования является установление расчётно-аналитической взаимосвязи между измеренными в эксперименте параметрами деформации почвы, условиями движения (сопротивлением перекатыванию, буксованием) и критериями курсовой устойчивости и управляемости транспортного агрегата [1, 2].

Экспериментальные исследования проводились на базе агрегата транспортного агрегата МТЗ-80+2ПТС-4М в условиях КФХ «Непочатой Н.Н.» (Мариинский МО, Кемеровская область) (рисунок 1). Испытания проходили на трёх типах агрофонов: грунтовая дорога, стерня зерновых и поле под посев (почва – среднесуглинистая тёмно-серая лесная). Влажность почвы в слое 0-30 см на стерневом фоне составляла в среднем 37,48 %, на поле под посев – 35,86 % [1, 2]. Оценка проводилась на основе комплекса данных, полученных в ходе контрольного динамометрирования с использованием информационно-измерительной системы СИ-302, а также посредством измерения контурных отпечатков шин и физико-механических свойств почвы по методике «След-вне следа» [2, 4, 6].



Рисунок 1 – **Тракторный транспортный агрегат МТЗ-80+2ПТС-4М на полевых испытаниях с установленным контрольно-измерительным оборудованием**

Курсовая устойчивость и управляемость колёсного тракторного транспортного агрегата (ТТА) представляют собой единый динамический комплекс взаимодействия в системе «Почва-Движитель-Трактор-Сцепка-Прицеп» («П-Дж-Т-С-П») [1, 7, 13]. Поскольку прямая инструментальная регистрация кинематических углов увода и рыскания звеньев поезда в полевом опыте сопряжена с высокой методической погрешностью деформации датчиков пути [1, 11], математическое моделирование позволяет с достаточной точностью связать зарегистрированные силовые, деформационные и тягово-сцепные характеристики агрегата со строгими критериями устойчивости его движения [7, 10].

В качестве исходного базиса динамического анализа рассмотрим механизм колееобразования и генерации случайных асимметричных силовых возмущений со стороны почвенного фона. При прямолинейном движении по деформируемому агрофону колесо прицепа затрачивает энергию на пластическую деформацию смятия грунта и сдвиговые явления [2, 9]. Сила тягового сопротивления

прицепа P, приложенная к тягово-сцепному устройству (ТСУ) трактора, согласно результатам регрессионного анализа данных полевых испытаний, имеет вид [1]:

$$P = 4{,}608 + 0{,}349\, G_{\text{пр}} + 1{,}916\, G_{\text{пр}} f, (R = 0{,}885), \quad (1)$$

где $G_{\text{пр}}$ – полный эксплуатационный вес прицепа, кН;

f – приведённый коэффициент сопротивления перекатыванию [1, 7].

Коэффициент сопротивления перекатыванию f функционально связан с глубиной формируемой колеи h и геометрией пятна контакта [2, 7]:

$$f = \frac{P_{f\,\text{пр}}}{G_{\text{пр}}} \approx \frac{h}{L}, \quad (2)$$

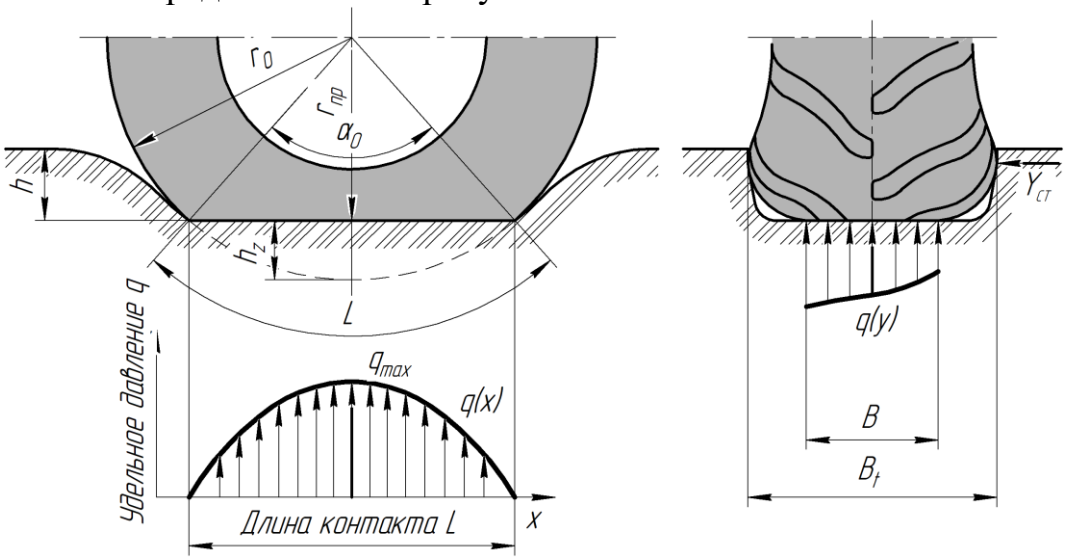
где L – протяжённость продольного отпечатка контакта шины с почвой, определяемая по геометрической зависимости с учётом приведенного радиуса $r_{\text{пр}}$ и глубины колеи h, м [2].

$$L = r_{\text{пр}}\, \alpha_0 + 2\sqrt{r_{\text{пр}} h}, \quad (3)$$

где α_0 – угол охвата (входа колеса в грунт), рад.

$$\alpha_0 = arctg\left(\frac{2\sqrt{r_{\text{пр}} h - h^2}}{r_{\text{пр}} - h}\right). \quad (4)$$

Геометрические параметры пятна контакта шины и схема образования колеи глубиной h представлены на рисунке 2.



r_0, $r_{\text{пр}}$ – Свободный и приведенный радиусы шины соответственно; L – Длина отпечатка; q_{max} – Максимальное удельное; $q(x, y)$ – Эпюры нормальных контактных напряжений; h – Глубина колеи; h_z – Нормальный радиальный прогиб шины; α_0 – Угол охвата (входа колеса в грунт); B, B_t – Ширина пятна контакта шины с почвой и ширина формируемой колеи соответственно.

Рисунок 2 – **Геометрические параметры пятна контакта эластичной шины с образованием колеи глубиной h и боковым упором $Y_{\text{ст}}$ в стенку колеи**

В реальных полевых условиях почвенный фон характеризуется стохастической неоднородностью твёрдости и влажности (коэффициент вариации сопротивления тяге составляет $\nu_P = 62{,}3$ % на поле под посев и $\nu_P = 57{,}95 - 60{,}45$ %

на укатанной дороге и на стерне соответственно) [1]. Вследствие этого глубина колеи под левым ($h_л$) и правым ($h_п$) бортами прицепа формируется неодинаковой – $h_л(t) \neq h_п(t)$.

Разность глубин колеи $\Delta h(t) = h_л(t) - h_п(t)$ порождает два дестабилизирующих фактора:

1. Крен осей прицепа на угол $\theta_{кр} \approx arcsin\left(\frac{\Delta h}{B_{пр}}\right)$, смещающий центр тяжести груза и перераспределяющий вертикальные нагрузки между бортами:

$$G_{к.л} = \frac{G_{пр}}{4}\left(1 + \frac{2\,h_g}{B_{пр}}\,\theta_{кр}\right), G_{к.п} = \frac{G_{пр}}{4}\left(1 - \frac{2\,h_g}{B_{пр}}\,\theta_{кр}\right), \quad (5)$$

где $B_{пр}$ – колея прицепа 2ПТС-4М, м;

h_g – высота центра тяжести перевозимого сыпучего грунта над опорной плоскостью, м.

2. Асимметрию продольных сил сопротивления качению бортов:

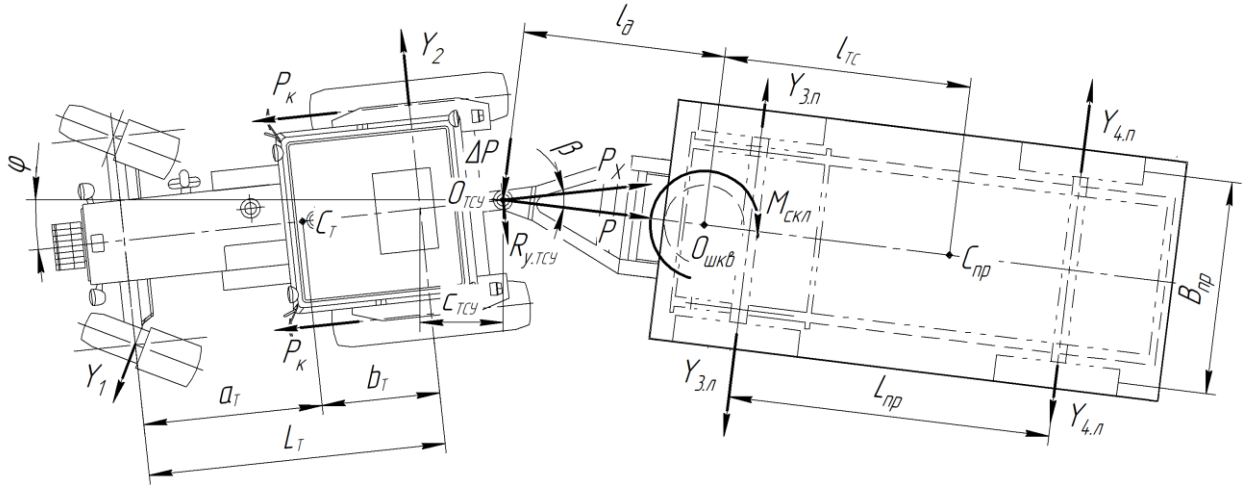
$$\Delta P(t) = P_{f\,л}(t) - P_{f\,п}(t) = f_л G_{к.л} - f_п G_{к.п}. \quad (6)$$

Данная асимметрия создаёт момент самопроизвольного складывания (рыскания) прицепа относительно оси сцепного шкворня [7, 13]:

$$M_{скл}(t) = \frac{1}{2}\,\Delta P(t)\,B_{пр} + P(t)\,l_д\,sin\,\beta, \quad (7)$$

где $l_д$ – длина поворотного дышла передней тележки прицепа, м [13];

β – угол отклонения продольной оси поезда от теоретического курса (угол складывания), рад.



$C_т$ – Центр масс трактора; $C_{пр}$ – Центр масс прицепа; $O_{тсу}$ – Точка тягово-сцепного устройства; $O_{шкв}$ – Ось поворотного шкворня тележки прицепа; $a_т, b_т$ – Координаты центра масс трактора; $c_{тсу}$ – Консольный вылет ТСУ; $l_д$ – Длина поворотного дышла; $l_{тс}$ – Расстояние от центра масс прицепа до оси поворотной тележки; $L_{пр}$ – База прицепа; φ – Угол отклонения курса трактора; β – Угол складывания поезда; P – Тяговое усилие на крюке; $P_x, R_{у.тсу}$ – Продольная и поперечная составляющие реакции сцепки; Y_1, Y_2 – Боковые реакции управляемого и ведущего мостов трактора; Y_3, Y_4 – Боковые реакции передней и задней осей прицепа; ΔP – Асимметричная разность сил сопротивления качению по бортам прицепа.

Рисунок 3 – **Расчётная схема сил и моментов, действующих на колесный тракторный транспортный агрегат при прямолинейном курсовом возмущении:**

Возникающие на прицепном звене асимметричные реакции транслируются через кинематическую связь дышла непосредственно на остов энергосредства. При наличии угла отклонения линии тяги β тяговое сопротивление на крюке P раскладывается в горизонтальной плоскости на две составляющие [7]:

• Продольную, задерживающую поступательное движение агрегата,

$$P_x = P \cdot cos\,\beta; \quad (8)$$

• Поперечную, приложенную в точке ТСУ (на консоли за задней осью трактора на плече $c_{\text{тсу}}$),

$$R_{y.\text{тсу}} = P\,sin\,\beta. \quad (9)$$

Расчётная схема распределения сил и внешних возмущающих моментов в горизонтальной плоскости агрегата приведена на рисунке 3.

Уравнение плоского движения трактора вокруг вертикальной оси Z, проходящей через его центр масс, принимает вид [7, 13]:

$$J_z\,\ddot{\varphi} = Y_1\,a_{\text{т}} - Y_2\,b_{\text{т}} - R_{y.\text{тсу}}\left(b_{\text{т}} + c_{\text{тсу}}\right), \quad (10)$$

где J_z – момент инерции трактора относительно вертикальной оси, кг·м^2;
φ – курсовой угол остова трактора, рад;
$a_{\text{т}}, b_{\text{т}}$ – продольные расстояния от центра тяжести трактора до передней и задней осей ($a_{\text{т}} + b_{\text{т}} = L_{\text{т}}$ – продольная база трактора, м);
Y_1, Y_2 – суммарные боковые реакции почвы на колёсах соответственно переднего управляемого и заднего ведущего мостов, Н [7, 10].

Подставляя выражение для поперечной силы от прицепа (9), получаем основное уравнение динамического курсового возмущения:

$$J_z\,\ddot{\varphi} = Y_1\,a_{\text{т}} - Y_2\,b_{\text{т}} - P(t)\left(b_{\text{т}} + c_{\text{тсу}}\right)\,sin\,\beta. \quad (11)$$

Из уравнения следует, что при резких флуктуациях тягового усилия (где пиковые значения достигали $P_{max} = 9{,}01$ кН на обработанном поле при математическом ожидании $M(P) = 3{,}71$ кН [1]) дестабилизирующий момент $M_{\text{дест}} = P(t)\left(b_{\text{т}} + c_{\text{тсу}}\right)\,sin\,\beta$ возрастает кратно, требуя адекватного увеличения парирующей боковой реакции Y_2 заднего ведущего моста [7].

Эффективность парирования указанных дестабилизирующих воздействий определяется фрикционным контактом движителей с деформируемым основанием, где определяющую роль играет нелинейная деградация сопротивления боковому уводу шин ведущего моста. Критическим барьером парирования возмущающих моментов является буксование ведущих движителей трактора δ [1, 7]. Согласно экспериментальным уравнениям регрессии, буксование линейно нарастает по мере роста сопротивления на крюке [1]:

• Грунтовая дорога: $\delta = 11{,}82 + 0{,}77\,P$ ($R = 0{,}582$);
• Стерня зерновых: $\delta = 16{,}64 + 0{,}46\,P$ ($R = 0{,}672$);
• Поле под посев: $\delta = 21{,}46 + 0{,}42\,P$ ($R = 0{,}383$).

При математическом ожидании буксования на поле под посев $M(\delta) = 26{,}6$ % и максимальных бросках до $\delta_{max} = 35{,}2$ % [1], кинематика взаимодействия колеса с почвой переходит из зоны упругого увода в зону сдвигового течения грунта в пятне контакта [9, 10].

Согласно полуэмпирической теории взаимодействия эластичного движителя с грунтом (круг трения-сцепления Радта-Милликен / модель Пацейки) [10], максимальная касательная реакция, реализуемая в пятне контакта площадью $F_к$, ограничена пределом сдвига почвы по закону Кулона-Мора [7, 9]:

$$F_{max} = \mu_{сц}\, G_к = \iint_{F_к} (c_0 + q(x,y)\ tg\varphi_0) dx\, dy, \qquad (12)$$

где c_0 – удельное сцепление почвы;
φ_0 – угол внутреннего трения, рад;
$q(x,y)$ – нормальное контактное напряжение, кПа [2, 9].

Графическая иллюстрация деградации боковой реакции Y_2 при реализации предельной силы тяги ведущими колёсами трактора по кругу сцепления на трёх типичных агрофонах показана на рисунке 3.

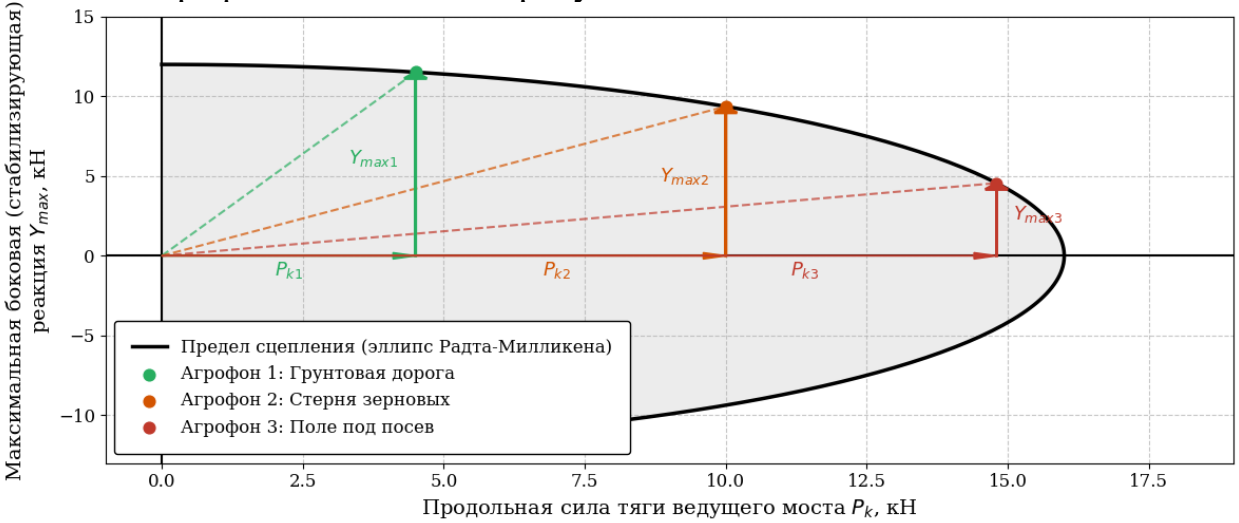


Рисунок 3 – **Деградация запаса курсовой устойчивости ТТА МТЗ-80+ПТС-4М по условиям сцепления при движении по различным агрофонам (диаграмма предельного круга сцепления Радта-Милликен)**

Вектор суммарной касательной силы $R_к$ формируется суперпозицией продольной силы тяги $P_к$ и боковой реакции Y [10]:

$$\left(\frac{P_к}{P_{к.max}}\right)^2 + \left(\frac{Y_i}{Y_{i.max}}\right)^2 \leq 1. \qquad (13)$$

Поскольку для преодоления возросшего сопротивления качению ($f = 0{,}094$ на рыхлом поле против $f = 0{,}055$ на укатанной дороге [1]) ведущие колёса трактора обязаны развивать предельную силу тяги $P_к \to P_{к.max}$, запас сцепления на реализацию боковой силы Y значительно снижается [7, 10].

Зависимость коэффициента сопротивления боковому уводу ведущего моста k_{y2} от величины буксования δ аппроксимируется выражением:

$$k_{y2}(\delta) = k_{y0}\sqrt{1 - \left(\frac{\delta}{100}\right)^2}\left[1 - \xi\ \frac{q_{max}}{[q]}\right], \qquad (14)$$

где k_{y0} – коэффициент сопротивления уводу колеса при свободном качении ($\delta \to 0$) [10];
ξ – эмпирический коэффициент структурной деградации подстилающего основания;

q_{max} – расчётное максимальное давление на почву [2];
$[q]$ – предел прочности несущего скелета почвы на сжатие [6].

Принимая для опытного поля под посев экспериментальные значения буксования $\delta_{max} = 35{,}2$ % [1] и максимального удельного давления $q_{max} = 258{,}7$ кПа [2, 6], расчётное снижение поперечной жёсткости ведущего моста достигает:

$$\frac{k_{y2}(\delta_{max})}{k_{y0}} \approx \sqrt{1 - 0{,}352^2} \cdot (1 - 0{,}25) \approx 0{,}936 \cdot 0{,}75 \approx 0{,}702. \quad (15)$$

Таким образом, на обработанном фоне способность ведущей оси сопротивляться боковому сносу падает более чем на 30 %. При наезде прицепа на локальные неровности или его рыскании трактор лишается жёсткой траекторной опоры в точке сцепки: задний мост начинает скользить в боковом направлении, генерируя дополнительный поворот остова на угол увода задней оси $\alpha_2 = \frac{Y_2}{k_{y2}}$ [7, 10].

Совместный учёт снижения поперечной жёсткости ходовой системы и действия крюкового сопротивления позволяет перейти к оценке апериодической курсовой устойчивости и определению критических скоростных режимов возникновения автоколебаний тракторного поезда.

Линеаризуя уравнения возмущенного плоскопараллельного движения агрегата с учётом податливости сочленения «Трактор-прицеп», получаем характеристическое уравнение системы четвертого порядка [7, 13]:

$$A_0\, s^4 + A_1\, s^3 + A_2\, s^2 + A_3\, s + A_4 = 0. \quad (16)$$

Свободный член характеристического уравнения A_4, определяющий выполнение условия статической устойчивости (знакопостоянство направления траектории без ухода в автоколебания складывания), имеет вид [7]:

$$A_4 = k_{y1}\, k_{y2}\, L_\text{т} - P(t)\left[k_{y1}\left(L_\text{т} + c_\text{тсу}\right) - k_{y2}\, c_\text{тсу}\right] - \frac{M_\text{скл}}{\beta}\, k_{y1}. \quad (17)$$

Для обеспечения статической устойчивости прямолинейного движения необходимо соблюдение критерия Гурвица $A_4 > 0$ [7, 13]. Отсюда определяется предельно допустимое значение крюковой нагрузки $[P]_\text{кр}$, выше которого система теряет устойчивость «В малом»:

$$[P]_\text{кр} = \frac{k_{y1}\, k_{y2}\, L_\text{т} - \left(\frac{\partial M_\text{скл}}{\partial \beta}\right) k_{y1}}{k_{y1}\left(L_\text{т} + c_\text{тсу}\right) - k_{y2}(\delta)\, c_\text{тсу}}. \quad (18)$$

Из приведённого математического выражения наглядно видно:

1. Если $k_{y2}(\delta) \to 0$ (при сильном буксовании задних колес $\delta > 30$ %) [1], знаменатель дроби увеличивается, а числитель стремительно сокращается, в результате чего порог устойчивости $[P]_\text{кр}$ падает ниже среднего эксплуатационного сопротивления $M(P) = 3{,}71$ кН [1].

2. Рост коэффициента сопротивления перекатыванию f и уплотнения почвы q_{max} ведёт к синхронному нарастанию градиента $\frac{\partial M_\text{скл}}{\partial \beta}$ (момента бокового сдвига в колее), что полностью обнуляет числитель формулы (18) при движении по почвенному фону с низкой несущей способностью в условиях интенсивного колееобразования [2].

Определим критерий критической скорости $V_{\text{кр}}$, при превышении которой устойчивое затухание поперечных колебаний прицепа сменяется прогрессирующим вилянием (автоколебаниями) [13]:

$$V_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{k_{y1}\, k_{y2}\, L_{\text{т}}^2}{m_{\text{т}}\,(k_{y1}\, a_{\text{т}} - k_{y2}\, b_{\text{т}}) + \Delta J_{\text{пр}}(P, f, h)}}, \tag{19}$$

где $m_{\text{т}}$ – масса трактора, кг;

$\Delta J_{\text{пр}}$ – приведённый динамический оператор инерции прицепа, прямо пропорциональный тяговому усилию P и глубине колеи h [13].

При движении по полю под посев рабочая скорость агрегата V_p варьировала от 6,81 до 9,62 м/с (24,5-34,6 км/ч – опытные заезды) [1]. В сочетании с падением k_{y2} из-за роста буксования до $\delta = 35{,}2$ % [1], расчётная критическая скорость по критерию автоколебаний $V_{\text{кр}}$ снижается до 6,5-7,2 м/с, что лежит непосредственно внутри рабочего скоростного диапазона агрегата. Это аналитически объясняет частые явления вынужденного подруливания и потерю управляемости при транспортировке тяжелых грузов ($G_{\text{пр}max}$) по обработанному полю [1, 2].

Проведённое исследование доказывает, что динамическая стабильность колёсного тракторного поезда (МТЗ-80+2ПТС-4М) на деформируемых агрофонах напрямую определяется контактными процессами в системе «Движитель-почва» [1, 2, 7]. Полученные результаты позволяют сделать следующие ключевые выводы:

1. Асимметричное колееобразование под бортами прицепа при контактных давлениях до 258,7 кПа [2, 6] и высокая вариация тягового сопротивления (до 62,3 %) [1] формируют знакопеременный момент складывания *Мскл* (*t*), дестабилизирующий прямолинейный курс агрегата [7, 13].

2. Преодоление повышенного сопротивления перекатыванию ($f = 0{,}094$) [1] на обработанном фоне приводит к буксованию ведущих колёс трактора до 35,2 % [1]. Согласно кругу сцепления Радта-Милликен, это вызывает исчерпание сцепного потенциала и снижает коэффициент сопротивления боковому уводу заднего моста k_{y2} трактора более чем на 30 % [10].

3. Снижение k_{y2} переводит агрегат в режим неустойчивости «В малом», опуская порог критической скорости автоколебаний виляния прицепа $V_{\text{кр}}$ до 6,5-7,2 м/с [7, 13]. Наложение этой зоны на рабочий скоростной интервал (6,81-9,62 м/с) [1] вызывает неизбежное рыскание поезда.

4. Для гарантированного исключения автоколебательного сноса и обеспечения безопасной управляемости агрегата при выполнении полевых перевозок по почвенным фонам с низкой несущей способностью скорость движения должна быть принудительно ограничена пределом 5,5-6,0 м/с [1, 7].

В итоге сохранение устойчивости и управляемости тракторного поезда на деформируемых почвах требуют комплексного подхода: соблюдение норм давления на грунт и скоростных лимитов выступает не только агроэкологическим условием, но и определяющим критерием безопасности полевых перевозок.

Список литературы

1. *Бережнов, Н.Н.* Влияние условий движения колесного тракторного транспортного агрегата на его энергетические показатели. - Текст: электронный // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XX Международной научно-практической конференции (г. Кемерово, 8 декабря 2021 г.) – Кемерово : Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2021 г. – с.63-72. - URL: http://ksai.ru/upload/files/sborniki/2021/12/tend/index.html

2. *Бережнов, Н.Н.* Механическое воздействие на почву движителей колесного транспортного тракторного агрегата при движении по сельскохозяйственным фонам. - Текст: электронный // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XX Международной научно-практической конференции (г. Кемерово, 8 декабря 2021 г.) – Кемерово : Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2021 г. – с.73-81. – URL: http://ksai.ru/upload/files/sborniki/2021/12/tend/index.html

3. *Бисенов, Г.С.* Использование тракторных поездов на перевозке сельскохозяйственных грузов / *Г.С. Бисенов* // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 4. – С. 32-34.

4. ГОСТ 26954-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения максимального нормального напряжения в почве. – Введ. 1987-01-01. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 9 с.

5. ГОСТ 34812-2022. Тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 28307-2013, ГОСТ 7057-2001; введ. 2023-01-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 35 с.

6. ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. – Взамен ГОСТ 26955-86; введ. 2020-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с.

7. *Гуськов, В.В.* Тракторы: Теория : учебник для вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / *В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов* [и др.] ; под общ. ред. В. В. Гуськова. – Москва: Машиностроение, 1988. – 376 с.

8. *Красовских, В.С.* Повышение эффективности функционирования тяговых агрегатов за счёт оптимизации параметров и эксплуатационных режимов работы в степных и лесостепных районах Западной Сибири: дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01 / *Красовских Виталий Степанович*. – Санкт-Петербург, 1991. – 460 с.

9. *Ксеневич, И.П.* Ходовая система – почва – урожай / *И.П. Ксеневич, В.А. Скотников, М.И. Ляско.* – Москва: Агропромиздат, 1985. – 304 с.

10. *Пацейка, Г.Б.* Шины, ходовая часть, управляемость автотранспортных средств / *Г.Б. Пацейка* ; пер. с англ. – Москва : КноРус, 2018. – 672 с.

11. *Хайлис, Г.А.* Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / *Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев.* – Москва : Колос, 1994. – 169 с.

12. Ходовые системы энергетических средств и сельскохозяйственных агрегатов в зонах рискованного земледелия: монография / *Е.Е. Кузнецов, С.А. Шишлов, Д.Н. Раднаев, Н.Н. Бережнов, А.И. Гончарук, Е.В. Маршанин, Р.О. Сурин, А.В. Михайлов*; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2025. – 193 с. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=88952901.

13. Experimental stabilization of tractor and tractor-trailer like vehicles / *R.M. DeSantis, R.Hurteau, O. Alboui, B. Lesot* // Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control. – Vancouver, BC, Canada, 2002. – P. 188-193. – DOI: 10.1109/ISIC.2002.1157760.

Сведения об авторах

Бережнов Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия». Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова (650056,

Россия, Кемеровская область-Кузбасс, г. Кемерово, тел.: 8(3842)734359, e-mail: n.berezhnov@mail.ru).
Сырбаков Андрей Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия». Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова (650056, Россия, Кемеровская область-Кузбасс, г. Кемерово, тел.: 8(3842)734359, e-mail: sirbakovap@yandex.ru).

Information about the authors
Berezhnov Nikolai N. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of agroengineering. Kuzbass state agrarian university named after V.N. Poletkov (650056, Russia, Kemerovo, Kemerovo oblast-Kuzbass, tel.: 8(3842)734359, e-mail: n.berezhnov@mail.ru).
Syrbakov Andrey P. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of agroengineering. Kuzbass state agrarian university named after V.N. Poletkov (650056, Russia, Kemerovo, Kemerovo oblast-Kuzbass, tel.: 8(3842)734359, e-mail: sirbakovap@yandex.ru).

УДК 631.362.6

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МОЙКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

В.В. Бидогаев, С.Н. Шуханов, А.В. Косарева

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Уровень продуктивности животноводства как одной из ключевых отраслей сельского хозяйства во многом зависит от большого количества факторов, в том числе степени оснащённости техническими средствами и технологиями, отвечающими современным требованиям. Решению актуальных вопросов в этой сфере посвящаются работы многих исследователей. К одной из приоритетных проблем относится механизация производственных процессов подготовки кормов сельскохозяйственным животным и птице, сбалансированный рацион которых включает в себя корнеклубнеплоды. Основные способы подготовки плодов – это мойка и измельчение. Одним из важнейших аспектов, предшествующих созданию и совершенствованию инновационных машин мойки корнеклубнеплодов являются экспериментальные исследования. Осуществленный анализ актуальных методов исследования процессов мойки позволил выявить их положительные и отрицательные стороны и, создать основу для выработки корректной методики.

Ключевые слова: способы подготовки кормов, мойка корнеклубнеплодов, процесс мойки, методика исследования.

ANALYSIS OF RESEARCH METHODS FOR ROOT CROPS WASHING PROCESSES

V.V. Bidogaev, S.N. Shukhanov, A.V. Kosareva

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The productivity of livestock farming, a key sector of agriculture, depends

largely on a number of factors, including the availability of modern technology and equipment. Many researchers are working to address pressing issues in this area. One of the priority issues is the mechanization of feed preparation processes for livestock and poultry, whose balanced diets include root crops. The primary methods for preparing root crops are washing and grinding. Experimental research is a key aspect of developing and improving innovative root crop washing machines. An analysis of current washing process research methods has revealed their strengths and weaknesses and laid the foundation for developing a robust methodology.

Key words: feed preparation methods, root crop washing, washing process, research methodology.

Эффективное функционирование животноводства как одной из ключевых отраслей сельского хозяйства во многом зависит от большого количества факторов, в том числе степени оснащённости техническими средствами и технологиями, отвечающими современным требованиям. Решению актуальных вопросов в этой сфере посвящаются работы многих исследователей [1, 2, 4, 5, 7, 8, 11]. К одной из приоритетных проблем относится механизация производственных процессов подготовки кормов сельскохозяйственным животным и птице, сбалансированный рацион которых включает в себя корнеклубнеплоды. Основные способы подготовки плодов – это мойка и измельчение.

Одним из важнейших аспектов, предшествующих созданию и совершенствованию инновационных машин мойки корнеклубнеплодов являются экспериментальные исследования. Анализ актуальных методов исследования процессов мойки преследует цель выявления положительных и отрицательных сторон и, создания основы для выработки корректной методики.

Экспериментальные методы

Экспериментальные исследования процесса мойки направлены на определение зависимостей между режимными параметрами оборудования и показателями качества обработки [3, 6, 12, 13, 14, 15].

Методики определения степени очистки. Для определения степени очистки используется зависимость [13]:

$$\eta = \frac{m_з - m_{ост}}{m_з} \cdot 100\ \%.$$

где η – степень очистки, %;

$m_з$ – масса загрязнений до мойки, г;

$m_{ост}$ – масса остаточных загрязнений после мойки, г.

Измерение массы загрязнений производится путём взвешивания проб корнеплодов до и после мойки с последующей корректировкой на влагопоглощение [12, 13]. Альтернативный подход – смыв остаточных загрязнений дистиллированной водой с последующим высушиванием и взвешиванием осадка [14, 15].

Оценка механических повреждений. Уровень механических повреждений оценивается визуально с классификацией по степени тяжести (поверхностные царапины, вмятины, глубокие порезы, раздробление) или взвешиванием поврежденной продукции [12, 13, 14]. Допустимый уровень повреждений обычно не должен превышать 2-3 % от общей массы [9].

Многофакторное планирование экспериментов. Для исследования влияния нескольких факторов на показатели процесса применяются методы планирования эксперимента [12, 13]. Типичные исследуемые факторы:

- Частота вращения барабана (8-30 об/мин.);
- Продолжительность мойки (2-10 мин.);
- Загрузка машины (50-100 % номинальной);
- Давление подачи воды (0,1-0,5 МПа).

Shaban Y. применил трёхфакторный эксперимент (3×3×4) с исследованием влияния частоты вращения (10, 20, 30 об/мин), загрузки (12, 24, 36 кг) и времени обработки (2, 4, 6, 8 мин.) на эффективность мойки картофеля [13]. Оптимальные параметры: 20 об/мин., 36 кг, 4 мин. – обеспечили степень очистки 93,07 % при повреждаемости 5,33 %.

Однако критический анализ методик показывает ряд недостатков:

1. Эксперименты проводятся для конкретных сочетаний вида корнеплодов и типа почвы, результаты трудно обобщить;

2. Не учитывается влияние исходной степени загрязнённости на эффективность процесса;

3. Отсутствуют стандартизированные методики определения механического состава и адгезионных свойств почвенных загрязнений;

4. Не исследуется динамика процесса очистки, анализируется только конечный результат.

Современные методы визуализации. Для детального изучения процесса применяются методы высокоскоростной видеосъёмки, позволяющие регистрировать траектории движения отдельных корнеплодов и характер их взаимодействия [14]. Метод *PIV* (*Particle Image Velocimetry*) используется для определения полей скоростей в водной фазе, однако его применение в непрозрачных суспензиях ограничено.

Методы математического моделирования и оптимизации

Для обоснования режимных параметров применяются различные подходы математического моделирования и оптимизации.

Регрессионные модели. На основе экспериментальных данных строятся регрессионные зависимости показателей качества от режимных параметров в виде полиномов второго порядка [12, 13]:

$$Y = b\_0 + \sum(i = 1 \text{ до } n) b\_i \cdot x\_i + \sum(i = 1 \text{ до } n) b\_ii \cdot x\_i^2 + \sum(i < j) b\_ij \cdot x\_i \cdot x\_j,$$

где Y – показатель качества (степень очистки, повреждаемость);

x_i – кодированные значения факторов;

b_i – коэффициенты регрессии;

n – число факторов.

Оптимальные режимы определяются путём исследования поверхности отклика и поиска экстремума целевой функции. Однако область применения таких моделей ограничена диапазоном варьирования факторов в эксперименте.

Многокритериальная оптимизация. Задача обоснования режимных параметров является многокритериальной: необходимо одновременно

максимизировать степень очистки, минимизировать повреждаемость, энергозатраты и водопотребление [14]. Для решения применяются методы построения функции желательности Харрингтона, свёртки критериев, Парето-оптимизации.

Однако в проанализированной литературе отсутствуют примеры систематического применения методов многокритериальной оптимизации для барабанных моечных машин корнеклубнеплодов.

Критерии оценки эффективности процесса мойки

Комплексная оценка эффективности процесса мойки включает следующие группы показателей [9, 10, 12, 13]:

1. Показатели качества очистки:

- Степень очистки, %;
- Остаточная загрязнённость, % от массы чистых корнеплодов;
- Равномерность очистки (коэффициент вариации остаточной загрязнённости в партии).

2. Показатели сохранности продукции:

- Доля механически поврежденной продукции, %;
- Интенсивность повреждений (средняя площадь повреждения на единицу продукции);
- Потери массы при мойке, %.

3. Технико-экономические показатели:

- Производительность, кг/ч или т/ч;
- Удельный расход воды, л/т;
- Удельные энергозатраты, кВт·ч/т;
- Приведённые затраты на единицу продукции, руб./т.

Критический анализ показывает отсутствие единой системы критериев оценки с установленными нормативными требованиями. Различные исследователи используют различные показатели, что затрудняет сопоставление результатов.

Осуществленный анализ актуальных методов исследования процессов мойки позволил выявить их положительные и отрицательные стороны и, создать основу для выработки корректной методики.

Список литературы

1. *Бидогаев, В.В.* Анализ современных методов мойки корнеклубнеплодов / *В.В. Бидогаев, С.Н. Шуханов* // В сборнике: Научные исследования и разработки к внедрению в АПК. Материалы национальной научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 80 - летию Победы в Великой Отечественной войне. Иркутск, 2025. - С. 313-317.

2. *Бидогаев, В.В.* Обзор и анализ исследований теоретических основ процесса мойки корнеклубнеплодов / *В.В. Бидогаев, С.Н. Шуханов, А.Р. Сухаева* // Вестник ВСГУТУ. - 2026. - № 2 (101). - С. 58-69.

3. *Джабборов, Н.И.* Технологические особенности и режимы предреализационной обработки клубней картофеля аэродинамическим способом / *Н.И. Джабборов, А.М. Захаров, А.В. Зыков* // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства – 2018. - № 95- с.136-143. EDN: USSBTS DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10040.

4. *Доржиев, А.С.* К вопросу анализа технических средств подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию / *А.С. Доржиев, С.Н. Шуханов, А.В. Кузьмин, С.В. Агафонов* // Агротехника и энергообеспечение. - 2024. - № 3 (44). - С. 86-94.

5. *Доржиев, А.С.* О способах подготовки кормов к скармливанию / *А.С. Доржиев, А.В. Косарева, А.И. Аносова* // В книге: Вызовы и инновационные решения в аграрной науке. Материалы XXIX Международной научно-производственной конференции. Майский, 2025. - С. 138-139. EDN: PCRUYN.

6. *Дусенов, М.К.* Повышение эффективности сухой очистки корнеклубнеплодов путем обоснования параметров роторно-щеточного устройства: автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.20.01. – Саратов : ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», 2011. – 20 с. EDN: QHPOLB.

7. *Завражнов А.И., Николаев Д.И.* Механизация приготовления и хранения, кормов. - М. : Агропромиздат, 1990. - 336 с. EDN: SNHPXX.

8. *Кокиева, Г.Е.* Принципы совершенствования техники для переработки корнеплодов / *Г.Е. Кокиева* // В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня образования Министерства сельского хозяйства и продовольствия республики Бурятия. Улан-Удэ, 2023. - С. 64-69. EDN: RFQZFE.

9. *Максимов, П.Л.* Универсальные технические средства для уборки корнеклубнеплодов: диссертация доктора технических наук: 05.20.01. – Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2003. - 287 с. EDN: NMLOBN.

10. *Хоронжевский, А*. Расчет производительности моечных машин: методические указания. – 2013. – URL: http://www.comodity.ru/frozenfood/equipment/89.html (дата обращения: 18.09.2026).

11. *Шуханов, С.Н.* Анализ геометрических параметров барабанов моечных машин / *С.Н. Шуханов, В.В. Бидогаев, А.В. Косарева, А.И. Аносова* // В сборнике: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Материалы XV международной научно-практической конференции. п. Молодежный, 2026. - С. 333-336.

12. Design and Fabrication of Root Vegetable Washer / International Journal of Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2023. – URL: https://www.ijraset.com/research-paper/design-and-fabrication-of-root-vegetable-washer (дата обращения: 29.12.2025).

13. *Shaban, Y*. Development of a small-scale washing machine for root crops / *Y. Shaban* // ResearchGate. – 2020. – DOI: 10.13140/RG.2.2.34567.89012.

14. *Fielke J.M., Ucgul M., Sauders C*. Three-Dimensional Discrete Element Modeling of Soil-Implement Interaction Considering Soil Plasticity, Cohesion and Adhesion // Research Gate. – 2013. – DOI: 10.13031/trans.56.9876.

15. *Schulz D., Woschny N., Schmidt E*. et al. Modelling of the detachment of adhesive dust particles during bulk solid particle impact to enhance dust detachment functions // Powder Technology. – 2022. – Vol. 403. – Article 117407.

Сведения об авторах

Бидогаев Валерий Витальевич – аспирант. кафедра технического обеспечения АПК, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, м. р-н Иркутский, п Молодежный, зд. 1/1, тел.: 89501496118, e-mail: vbidogaev25@mail.ru).

Шуханов Станислав Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технического обеспечения АПК, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, м. р-н Иркутский, п. Молодежный, зд. 1/1, тел.: 89086546032, e-mail: Shuhanov56@mail.ru).

Косарева Анна Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин, Иркутский государственный аграрный университет

имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, м. р-н Иркутский, п. Молодежный, зд. 1/1, тел.: 89149444228, ankosar@mail.ru).

Information about the authors

Bidogaev Valery V. – postgraduate student. department of technical support for the agro-industrial complex, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk oblast, Irkutsk metropolitan district, Molodezhnoye village, Molodezhny village, bldg. 1/1, tel.: +7 9501496118, e-mail: vbidogaev25@mail.ru).

Shukhanov Stanislav N. – doctor of technical sciences, professor, department of technical support for the agro-industrial complex, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk metropolitan area, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny settlement, bldg. 1/1, tel.: +7 9086546032, e-mail: Shuhanov56@mail.ru).

Kosareva Anna V. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of technical service and general engineering disciplines, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk metropolitan area, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny settlement, bldg. 1/1, tel.: +7 9149444228, ankosar@mail.ru).

УДК 629.113

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР И ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ КАК КЛЮЧЕВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

А.Ц. Будажапов, Ц.В. Цэдашиев

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматривается влияние человеческого фактора на результаты диагностирования тормозного управления автомобиля на стенде СТМ-3500. Проанализированы основные причины ошибок оператора при проведении диагностики, а также взаимосвязь между качеством тормозных колодок и активной безопасностью транспортного средства. На основе обзора публикаций по теме выявлены ключевые факторы, снижающие достоверность диагностирования, и предложены направления совершенствования процедуры контроля тормозной системы.

Ключевые слова: тормозная система; активная безопасность; человеческий фактор; диагностирование; стенд СТМ-3500; тормозные колодки; техническое обслуживание.

HUMAN FACTOR AND TECHNICAL CONDITION OF THE BRAKE SYSTEM AS KEY ELEMENTS OF ACTIVE VEHICLE SAFETY

A.Ts. Budazhapov, Ts.V. Tsedashiev

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines the influence of the human factor on the results of diagnosing the brake control of a car on the STM-3500 stand. The main causes of operator errors during diagnostics are analyzed, as well as the relationship between the quality of brake pads and the active safety of the vehicle. Based on a review of publications on the topic, the key factors that reduce the reliability of diagnostics are identified, and directions for improving the brake system control procedure are proposed.

Key words: brake system; active safety; human factor; diagnostics; STM-3500 stand; brake pads; maintenance.

Безопасность дорожного движения остаётся одной из приоритетных задач современного технического сервиса. Тормозная система автомобиля является ключевым элементом активной безопасности, поскольку именно от её эффективности зависит способность водителя своевременно снизить скорость или остановить транспортное средство в аварийной ситуации [3, 6].

Однако надёжность торможения определяется не только техническим состоянием узлов, но и достоверностью диагностирования. Исследования показывают, что человеческий фактор играет существенную роль в процессе проверки тормозного управления на стенде СТМ-3500: субъективное восприятие водителя и квалификация оператора могут приводить как к пропуску неисправностей, так и к неверной оценке исправной системы [1, 4].

Кроме того, состояние тормозных колодок и дисков напрямую влияет на безопасность: износ фрикционных элементов меняет параметры торможения и может снижать эффективность работы систем экстренного торможения [6]. Восстановление работоспособности тормозных дисков также является важной задачей технического сервиса [5].

Цель работы – проанализировать взаимосвязь между человеческим фактором при диагностировании тормозной системы на стенде СТМ-3500 и итоговым уровнем активной безопасности автомобиля.

Задачи:

1. Рассмотреть тормозную систему как фактор активной безопасности;
2. Выявить влияние состояния тормозных колодок на безопасность;
3. Проанализировать роль человеческого фактора при диагностировании на стенде СТМ-3500;
4. Обобщить методы восстановления работоспособности тормозных дисков.

Тормозная система относится к важнейшим системам автомобиля, обеспечивающим активную безопасность. Под активной безопасностью понимается совокупность свойств транспортного средства, направленных на предотвращение дорожно-транспортных происшествий. Именно тормозная система позволяет водителю реализовать наиболее критичное действие – своевременное снижение скорости вплоть до полной остановки [3].

Согласно современным исследованиям, эффективность торможения зависит от целого комплекса факторов: состояния тормозных механизмов, качества фрикционных материалов, исправности гидравлического или пневматического привода, а также от условий эксплуатации. При этом даже незначительное

снижение эффективности торможения может привести к увеличению тормозного пути и, как следствие, к повышению риска столкновения [6]. Таким образом, поддержание тормозной системы в исправном состоянии является обязательным условием безопасной эксплуатации автомобиля.

Тормозные колодки – это расходный элемент, который непосредственно участвует в создании тормозного усилия. От их состояния зависит коэффициент трения между колодками и тормозным диском (или барабаном). В работе [6] отмечается, что тормозные колодки являются фактором активной безопасности дорожного движения: их износ, загрязнение или использование некачественных материалов приводят к снижению эффективности торможения.

Особую актуальность эта проблема приобретает в контексте работы современных систем экстренного торможения (AEB). Исследования показывают, что при снижении коэффициента трения колодок (например, до 0,24) система AEB может не обеспечить требуемого замедления, что приводит к столкновению. Таким образом, даже исправная тормозная система с изношенными колодками перестаёт отвечать требованиям безопасности. Своевременная замена колодок и контроль их состояния должны рассматриваться как обязательная процедура технического обслуживания [6].

Таблица 1 – **Влияние состояния тормозных колодок на показатели активной безопасности**

Состояние тормозных колодок	**Коэффициент трения**	**Эффективность торможения**	**Влияние на работу AEB**
Новые, качественные	0,35-0,45	Высокая	AEB работает штатно
Изношенные (в пределах нормы)	0,28-0,35	Удовлетворительная	Возможно увеличение тормозного пути
Критически изношенные / некачественные	$\leq 0{,}24$	Низкая	AEB может не предотвратить столкновение

Диагностирование тормозной системы на стенде СТМ-3500 является распространённым методом инструментального контроля. Однако, как показывают исследования, результаты диагностики в значительной степени зависят от человеческого фактора [1, 4]. Оператор, проводящий проверку, должен правильно установить автомобиль на стенд, выбрать режим измерения, а также корректно интерпретировать полученные данные. Ошибки на любом из этих этапов могут привести к ложному заключению.

В работе [1] подчёркивается, что субъективное восприятие водителем работы тормозов не всегда совпадает с объективными показаниями стенда. Водитель может «Чувствовать» педаль тормоза иначе, чем это фиксирует аппаратура, что создаёт предпосылки для ошибочной оценки. Кроме того, недостаточная квалификация оператора может стать причиной как пропуска неисправности (ложноотрицательный результат), так и необоснованного признания исправной системы неисправной (ложноположительный результат) [4].

Снижение влияния человеческого фактора требует стандартизации процедур диагностирования, внедрения автоматизированных систем принятия

решений и повышения уровня подготовки персонала. Только в этом случае результаты стендовых испытаний будут обладать достаточной достоверностью.

Таблица 2 – **Основные ошибки оператора при диагностировании на стенде СТМ-3500 и их последствия**

Этап диагностирования	Типичная ошибка	Последствие
Установка автомобиля на стенд	Неточное позиционирование колёс	Искажение измеряемых усилий
Выбор режима измерения	Неверный выбор скорости или нагрузки	Несоответствие нормативным условиям
Интерпретация данных	Субъективная оценка, влияние усталости	Ложноотрицательный или ложноположительный результат
Учёт человеческого восприятия	Игнорирование разницы между «ощущением» педали и показаниями стенда	Неверное заключение о состоянии тормозов

Наряду с заменой колодок, важным направлением поддержания активной безопасности является восстановление тормозных дисков. В процессе эксплуатации на рабочей поверхности диска образуются риски, борозды, термические трещины, а также происходит неравномерный износ. Это приводит к снижению эффективности торможения, вибрациям и повышенному износу колодок.

В работе [5] рассматривается восстановление работоспособности тормозных дисков автомобиля. Авторы отмечают, что одним из распространённых методов является проточка – механическая обработка поверхности диска с целью удаления дефектного слоя. Однако при этом необходимо соблюдать предельно допустимые размеры, установленные производителем. Несвоевременное или некачественное восстановление может привести к критическому уменьшению толщины диска и его разрушению. Таким образом, восстановление тормозных дисков должно выполняться в строгом соответствии с технологическими рекомендациями и с обязательным контролем остаточной толщины [5].

Таблица 3 – **Сравнение методов восстановления тормозных дисков**

Метод	Сущность	Преимущества	Ограничения
Проточка (шлифование)	Снятие дефектного слоя с поверхности диска	Восстановление плоскостности, устранение вибраций	Уменьшение толщины; необходим контроль минимально допустимого размера
Замена диска	Установка нового элемента	Гарантированная надёжность	Высокая стоимость; необходимость при критическом износе
Комбинированный подход	Проточка с последующей балансировкой	Продление срока службы	Требует специального оборудования и квалификации

Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Тормозная система является определяющим элементом активной безопасности транспортного средства, а её эффективность зависит как от технического состояния узлов, так и от качества диагностирования.

2. Состояние тормозных колодок оказывает прямое влияние на тормозной путь и работу систем экстренного торможения: износ или низкое качество фрикционных элементов снижает безопасность даже при исправной тормозной системе.

3. Человеческий фактор при диагностировании на стенде СТМ-3500 остаётся значимым источником погрешности. Субъективность восприятия и квалификация оператора могут приводить к ложным результатам, что требует стандартизации процедур и повышения уровня подготовки персонала.

4. Своевременное восстановление работоспособности тормозных дисков (в том числе проточка) является необходимым условием поддержания активной безопасности автомобиля.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные выводы могут быть использованы при разработке регламентов диагностирования тормозных систем и программ подготовки операторов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с автоматизацией процессов диагностирования и внедрением объективных методов оценки состояния тормозной системы, снижающих влияние человеческого фактора.

Список литературы

1. Исследование влияния человеческого фактора на результаты диагностирования тормозного управления автомобиля на стенде СТМ-3500 / *С.Н. Кривцов, Д.С. Алексеенцев, П.И. Ильин, О.Н. Хороших* // Актуальные проблемы эксплуатации машинно-тракторного парка, технического сервиса, энергетики и экологической безопасности в агропромышленном комплексе : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения Ивана Петровича Терских, Иркутск, 25-27 сентября 2007 года. – Иркутск : Издательство Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, 2007. – С. 103-108. – EDN AQZGLN.

2. *Ильин, П.И.* Показатели приспособленности и их влияние на процесс диагностирования машин / *П.И. Ильин, С.А. Филиппов* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 14-15 марта 2019 года. Том II. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. – С. 152-160. – EDN BWRNNZ.

3. *Резь, А.В.* Исследование влияния человеческого фактора на процесс диагностирования тормозного управления автомобилями на стенде СТМ-3500 / *А.В. Резь, А.С. Семенов* // Прикладные аспекты студенческой науки аграрных вузов Сибирского федерального округа : сборник материалов VII региональной научной студенческой конференции аграрных вузов Сибирского федерального округа : в 2 частях, Иркутск, 15-17 апреля 2008 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Департамент научно-технологической политики и образования Ассоциация образовательных учреждений АПК и рыболовства Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. Том Часть II. – Иркутск : Издательство ИрГСХА, 2008. – С. 41-45. – EDN XWSACH.

4. *Рудых, А.А.* Восстановление работоспособности тормозных дисков автомобиля / *А.А. Рудых, И.Б. Егоров* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 29 октября 2021 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 149-150. – EDN OWAVTB.

5. Тормозная система как важный фактор безопасности трнспортного средства / *Е.И. Любимова, Г.А. Ханхаев, О.И. Самбарова* [и др.] // Безопасность в техносфере : Материалы международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Молодежный, 27 марта 2026 года. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 66-72. – EDN UIBKII.

6. Тормозные колодки как фактор активной безопасности дорожного движения / *Г.А. Ханхаев, О.И. Самбарова, Е.И. Любимова, Ц.В. Цэдашиев* // Безопасность в техносфере : Материалы международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Молодежный, 27 марта 2026 года. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 149-155. – EDN EIAJXY.

Сведения об авторах

Будажапов Александр Цыриторович – студент второго курса инженерного факультета Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79144384275, e-mail: Budazhapov@yandex.ru).

Цэдашиев Цырендаши Владимирович – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Information about the authors

Budazhapov Aleksandr Ts. – second-year student, Faculty of Engineering, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: +79144384275; e-mail: Budazhapov@yandex.ru).

Tsedashiev Tsyrendashi V. – senior lecturer, department of agricultural machinery and technologies, occupational safety, and vocational training, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: +79500834583; e-mail: thedashiev@mail.ru).

УДК 631.356

СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОЧИЩАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ

Е.Р. Бучинский, В.А. Сенников

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет
Благовещенск, Россия

Аннотация. Проведён анализ производства картофеля в Амурской области за 2022-2025 гг. Выявлены тенденции сокращения посадочных площадей, снижения валового сбора и нарушения агротехнических сроков уборки, связанные с недостатком современной техники. Установлено, что применяемые картофелеуборочные машины не обеспечивают требуемого качества очистки клубней от почвы. Теоретически исследованы закономерности процесса сепарации клубненосного вороха на рабочих органах картофелеуборочных машин (эллиптический встряхиватель, встряхивающие ролики, грохот). Обоснованы возможные направления интенсификации процесса очистки, включая применение дополнительного очищающего устройства.

Ключевые слова: картофелекопатель, сепарация клубненосного вороха, очистка клубней, картофелеуборочная машина, встряхиватель, грохот, Амурская область.

THE STATE OF POTATO PRODUCTION IN THE AMUR REGION AND THEORETICAL SUBSTANTIATION OF AN ADDITIONAL CLEANING DEVICE FOR A POTATO DIGGER

E.R. Buchinsky, V.A. Sennikov

FSBEI HE Far Eastern state agrarian university
Blagoveshchensk, Russia

Abstract. The analysis of potato production in the Amur region for 2022–2025 is presented. Tendencies of reduction of planting areas, decrease in gross harvest and violation of agrotechnical terms of harvesting associated with a lack of modern machinery are revealed. It is established that the applied potato harvesters do not provide the required quality of tuber cleaning from soil. The regularities of the separation process of tuber heaps on the working bodies of potato harvesters (elliptical shaker, shaking rollers, sieve) are theoretically investigated. Possible directions for intensifying the cleaning process, including the use of an additional cleaning device, are substantiated.

Key words: potato digger, separation of tuber heap, tuber cleaning, potato harvester, KTN-2V, shaker, sieve, Amur region.

Основным фактором, способствующим достижению продовольственной независимости страны, является надёжное обеспечение населения сельскохозяйственной продукцией, в том числе овощами. Продовольственная независимость Амурской области подразумевает, что регион должен самостоятельно обеспечивать себя основными видами отечественной сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [6].

Для достижения необходимого уровня самодостаточности важно регулярно обновлять технологии, используемые для уборки урожая. Анализ применяемых в хозяйствах Амурской области методов уборки картофеля показал: используемые машины не всегда способны обеспечить необходимую очистку клубней от почвы; некоторые модели наносят чрезмерные повреждения клубням, что негативно влияет на их сохранность; картофелеуборочные машины, эксплуатируемые в регионе, являются морально устаревшими [13].

Цель исследований – теоретическое обоснование направлений повышения эффективности процесса сепарации клубненосного вороха картофелеуборочных машин.

Задачи исследования:

1. Проанализировать состояние производства картофеля в Амурской области и выявить проблемы уборки;

2. Теоретически исследовать закономерности процесса сепарации на рабочих органах картофелеуборочных машин (эллиптический встряхиватель, встряхивающие ролики, грохот);

3. На основе теоретического анализа определить возможные направления интенсификации процесса очистки клубней.

Объект исследования – технологический процесс уборки картофеля в

Амурской области.

Предмет исследования — процесс сепарации клубненосного вороха на рабочих органах картофелеуборочных машин.

Методы исследования. В ходе исследования применялись экономико-статистические методы и методы системного анализа. В качестве информационной базы для анализа использовались официальные статистические данные, предоставленные Федеральной службой государственной статистики по Амурской области [1, 12].

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, пороговое значение самообеспеченности картофелем составляет не менее 95 %. По данным Росстата, в 2022 году коэффициент самообеспеченности Амурской области картофелем достиг 133,7 %, что существенно превышает нормативный показатель. Однако данный результат обеспечивается преимущественно за счёт хозяйств населения, на долю которых приходится более 90 % валового сбора. Вклад организованного сектора – сельскохозяйственных организаций, крестьянско-фермерских хозяйств и индивидуальных предпринимателей – в обеспечение населения региона товарным картофелем составляет лишь 30-40 % от рациональных норм потребления [6].

Низкая доля организованного сектора в производстве картофеля связана с комплексом проблем: высокими рисками подтопления пойменных земель, дефицитом современной уборочной техники и недостатком мощностей для хранения продукции. Для преодоления этих ограничений в регионе разработана концепция развития картофелеводства и овощеводства, предусматривающая меры государственной поддержки – субсидирование прироста посевных площадей, компенсацию части затрат на приобретение техники и оборудования. Тем не менее, количество хозяйств, готовых наращивать производство товарного картофеля, остаётся незначительным [9].

По данным Федеральной службы государственной статистики, посевные площади картофеля в хозяйствах всех категорий Амурской области за период 2022-2025 гг. сократились с 11,5 до 8,9 тыс. га, или на 22,6 % (рисунок 1). Основными причинами сокращения являются высокие риски подтопления низменных территорий в поймах рек, а также общая неустойчивость погодных условий [9].

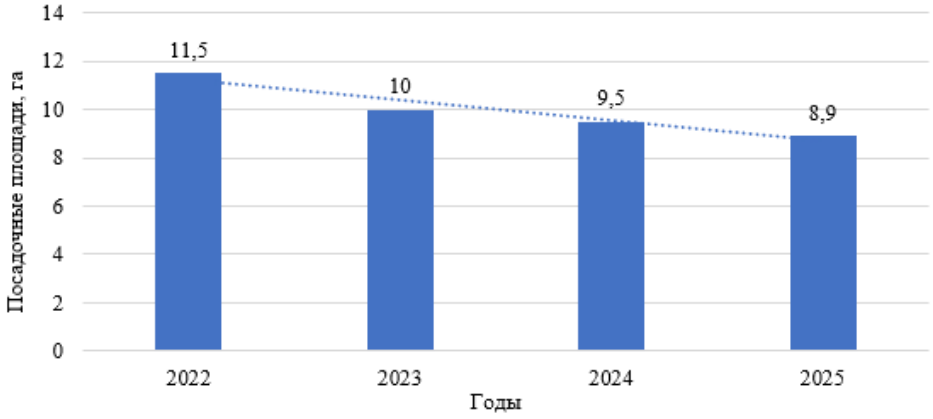


Рисунок 1 – **Посадочные площади картофеля в хозяйствах всех категорий Амурской области, 2022-2025 гг.**

Вследствие сокращения площадей снижается и валовой сбор – с 194,2 тыс. тонн в 2022 году до 168,5 тыс. тонн в 2025 году (рисунок 2) [12].

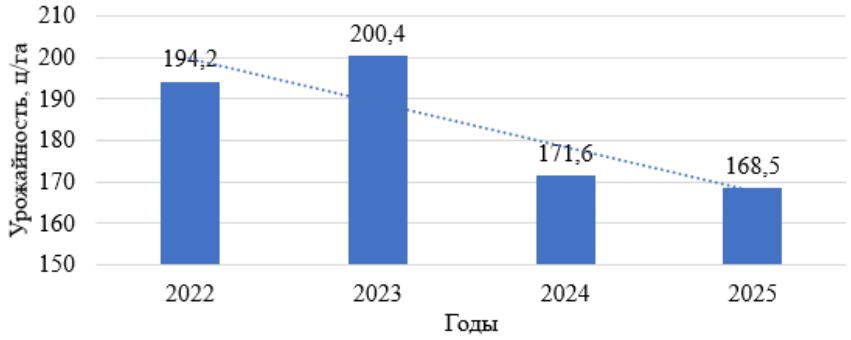


Рисунок 2 – **Динамика валового сбора картофеля в хозяйствах всех категорий Амурской области, 2022-2025 гг.**

При этом урожайность картофеля не имеет выраженной тенденции к снижению: в 2022 году она составила 168,6 ц/га, в 2023-м – 201,2 ц/га, в 2024-м – 180,4 ц/га, в 2025-м – 189,1 ц/га (рисунок 3).

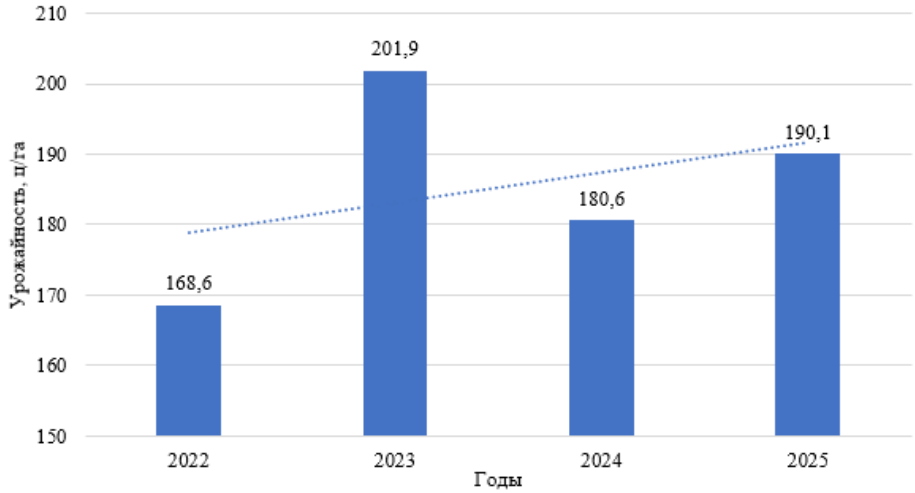


Рисунок 3 – **Урожайность картофеля в хозяйствах всех категорий Амурской области, 2022-2025 гг.**

Таким образом, основной причиной падения валового сбора является не снижение урожайности, а сокращение посадочных площадей и нарушение сроков уборки (таблица 1) [12].

Таблица 1 – Динамика производства картофеля в хозяйствах всех категорий Амурской области, 2022–2025 гг.

Год	**Посевная площадь, тыс. га**	**Валовой сбор, тыс. т**	**Урожайность, ц/га**
2022	11,5	194,2	168,6
2023	10,0	200,4	201,2
2024	9,5	171,6	180,4
2025	8,9	168,5	189,1

Особую тревогу вызывает нарушение агротехнических сроков уборки. По данным Минсельхоза Амурской области, на 30 сентября 2025 года из 1200 га, отведённых под картофель в организованном секторе, убрано лишь 400 га, или

33 %, в то время как 800 га, или 67 %, остались неубранными (рисунок 4). Затягивание процесса уборки до наступления морозов приводит к потерям урожая и снижению качества продукции. Основная причина – дефицит современной техники, адаптированной к почвенно-климатическим условиям региона, и низкая производительность имеющихся машин [13].

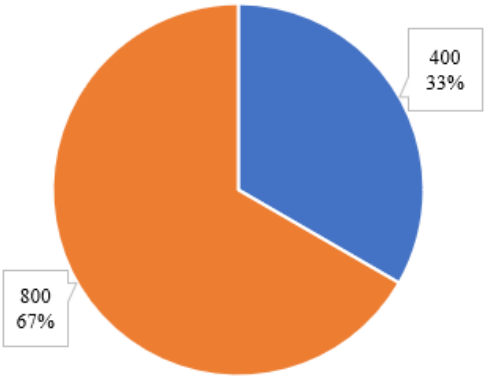


Рисунок 4 – **Динамика уборки картофеля в АПК Амурской области в сентябре 2025 г.**

Основная доля посадочных площадей картофеля в организованном секторе приходится на Благовещенский, Тамбовский и Ивановский районы, где преобладают пойменные аллювиальные почвы с высоким естественным плодородием (таблица 2) [12].

Таблица 2 – Валовой сбор картофеля по муниципальным районам Амурской области, 2022 г.

Район	**Валовой сбор, тыс. т**	**Доля, %**
Благовещенский	30,6	15,7
Тамбовский	18,3	9,4
Ивановский	14,5	7,5
Серышевский	11	5,7
Свободненский	9,9	5,1
Белогорский	9,1	4,7
Октябрьский	7,9	4,1
Михайловский	7,1	3,7
Архаринский	6,6	3,4
Завитинский	6,6	3,4

Однако именно пойменные почвы в условиях переувлажнения создают наибольшие трудности для сепарации клубненосного вороха: высокая влажность и вязкость почвы приводят к налипанию пласта на рабочие органы, образованию плотных комков и затрудняют просеивание [5]. Анализ применяемых в хозяйствах Амурской области картофелеуборочных машин показывает, что наибольшее распространение получил прицепной картофелекопатель КТН-2В. Исследования ряда авторов [3] свидетельствуют о недостаточной эффективности его сепарирующих узлов на переувлажнённых почвах. Существующие конструкции не обеспечивают требуемого качества очистки клубней от почвенных примесей, а повреждаемость клубней при уборке достигает значительных величин из-за ударных нагрузок при взаимодействии с рабочими органами [2].

Для определения возможных направлений повышения эффективности сепарации рассмотрим принципы работы основных типов встряхивающих устройств, применяемых на прутковых элеваторах картофелеуборочных машин [7].

Эллиптический встряхиватель представляет собой пару эллиптических роликов, закреплённых на свободно вращающемся валу и повёрнутых относительно друг друга на 90° (рисунок 5).

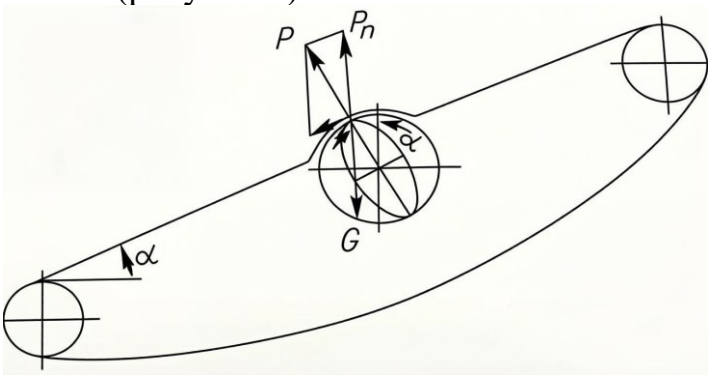


Рисунок 5 – **Схема работы эллиптического встряхивателя**

При вращении прутки элеватора описывают траекторию, близкую к эллипсу, в результате чего на сепарируемый ворох действует центробежная сила, способствующая отрыву пласта почвы от поверхности элеватора. Эффективность данного процесса зависит от частоты вращения встряхивателя: при недостаточной частоте пласт не отрывается от элеватора, при избыточной – возрастает повреждаемость клубней [4, 11].

Другой тип встряхивающего устройства – качающиеся ролики, при работе которых колебания полотна элеватора считаются гармоническими. При ударе ролика о прутки элеватора снизу материал прижимается к полотну, а подбрасывание частиц происходит после того, как полотно замедляет движение, и нормальная составляющая ускорения превышает составляющую ускорения свободного падения. При подбрасывании создаётся ударное воздействие прутков на комки почвы, что улучшает их измельчение и просеивание [10].

В результате колебаний грохота мелкие частицы обрабатываемого материала просеиваются сквозь щелевидные отверстия решета, крупные идут сходом. Одновременно с сепарацией материал движется вверх по решету. Для интенсификации процесса сепарации и дробления крупных комков почвы материал должен перемещаться с отрывом от поверхности грохота, при этом важно исключить холостые колебания – время свободного полёта частицы должно быть меньше периода одного колебания [7].

Анализ закономерностей работы рассмотренных устройств показывает, что каждый из них имеет ограничения при работе на переувлажнённых пойменных почвах: эллиптический встряхиватель чувствителен к частоте вращения, качающиеся ролики требуют точного соотношения параметров кривошипного механизма, грохот эффективен лишь при определённом диапазоне частот колебаний. В условиях Амурской области, где преобладают тяжёлые связные почвы с высокой влажностью, ни один из этих типов встряхивателей в отдельности не

обеспечивает требуемого качества сепарации [3, 5].

На основе проведённого анализа одним из возможных направлений повышения эффективности очистки клубней является применение дополнительного очищающего устройства, воздействующего на клубненосный ворох путём замедления его верхней части относительно нижней. Разность скоростей слоёв вороха увеличивает время взаимодействия частиц почвы с сепарирующей поверхностью, что теоретически способствует более полному просеиванию почвы и снижению повреждаемости клубней [8]. Данное направление не требует замены базовой машины и может быть реализовано путём конструктивной доработки сепарирующего узла картофелекопателя КТН-2В. Однако для подтверждения работоспособности и определения оптимальных параметров такого устройства необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования.

Заключение. Анализ производства картофеля в Амурской области за 2022-2025 гг. показал, что посевные площади сократились на 22,6 %, валовой сбор снизился на 13,2 %, при этом урожайность не имеет выраженной тенденции к снижению. Основными причинами падения валового сбора являются сокращение посадочных площадей и нарушение агротехнических сроков уборки, связанное с дефицитом современной техники, адаптированной к почвенно-климатическим условиям региона.

Наибольшее распространение в организованном секторе получил картофелекопатель КТН-2В, сепарирующие узлы которого не обеспечивают требуемого качества очистки клубней на переувлажнённых пойменных почвах. Рассмотрены три типа встряхивающих устройств – эллиптический встряхиватель, качающиеся ролики и грохот, - каждое из которых имеет ограничения при работе в условиях высокой влажности и вязкости почвы.

На основе теоретического анализа обосновано возможное направление интенсификации процесса сепарации – применение дополнительного очищающего устройства, создающего разность скоростей слоёв клубненосного вороха. Данное решение не требует замены базовой машины, однако его эффективность и оптимальные параметры подлежат экспериментальному подтверждению в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Амурская область в цифрах: краткий статистический сборник / Амурстат. – Благовещенск, 2025.

2. *Байбобоев, Н.Г.* Обоснование технологической схемы сепарирующего рабочего органа картофелекопателей / *Н.Г. Байбобоев, Г.К. Рембалович, Ш.Б. Акбаров, Б.Ш. Набиев* // Механика и технология. – 2021.

3. *Гаджиев, И.П.* Обоснование параметров сепарирующего элеватора картофелеуборочного комбайна: дис. … канд. техн. наук / *И.П. Гаджиев*. – Рязань, 2023. – 128 с.

4. *Гаджиев, П.И.* Определение конструктивных параметров интенсификатора и условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеваторов / *П.И. Гаджиев, И.П. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова* // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 17-22.

5. *Гаджиев, П.И.* Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажнённых почвах / *П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев* // Наука в центральной России. – 2022. - № 2(56). – С. 98-106.

6. *Дюльдина, Д.С.* Тенденции и перспективы развития сельского хозяйства Амурской области / *Д.С. Дюльдина* // Молодой учёный. – 2024. - № 46 (545). – С. 427-431.

7. *Кодиров, С.Т.* Анализ схемно-конструктивных решений прутковых элеваторов картофелеуборочных машин / *С.Т. Кодиров* // Строительство и образование. – 2024.

8. *Липатова, М.А.* Обоснование параметров устройства отделения примесей в картофелеуборочной машине: автореф. дис. … канд. техн. наук / *М.А. Липатова.* – Рязань, 2024. – 20 с.

9. *Малина, Ю.В.* Современное состояние агропромышленного комплекса Амурской области / *Ю.В. Малина, В.И. Дорофеевская* // Молодой учёный. – 2024. - № 31 (530). – С. 25-28.

10. *Молоканова, Л.О.* Динамика воздействия активного встряхивателя элеватора на компоненты картофельного вороха / *Л.О. Молоканова, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко* [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 1. – С. 143-150.

11. *Молоканова, Л.О.* Обоснование параметров встряхивателя сепарирующего органа картофелекопателя: дис. … канд. техн. наук / *Л.О. Молоканова*. – Рязань, 2025. – 112 с.

12. Сельское хозяйство Амурской области: статистический сборник / Амурстат. – Благовещенск, 2025.

13. *Симонова, Н.В.* Полевые исследования усовершенствованного копателя КТН-2В / *Н.В. Симонова, С.Н. Борычев* // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 170-176.

Сведения об авторах

Бучинский Егор Романович – аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет, Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, тел.: +7 (963) 817-92-77, e-mail: egorbuchinski1@gmail.com.

Сенников Вячеслав Анатольевич – канд. техн. наук, доцент Дальневосточный Государственный аграрный университет, Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, тел.: +7 (924) 676-64-22, email: sennikovva@mail.ru.

Information about the authors

Buchinsky Egor R. – postgraduate student, Far Eastern state agrarian university, Russia, 675005, Amur region, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya st., 86, tel.: +7 (963) 817-92-77, e-mail: egorbuchinski1@gmail.com.

Sennikov Vyacheslav A. – candidate of technical sciences, associate professor, Far Eastern state agrarian university, russia, 675005, Amur region, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya st., 86, tel.: +7 (924) 676-64-22, e-mail: sennikovva@mail.ru.

УДК 628.336.6

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПЕРЕРАБОТКЕ СМЕСИ КОНСКОГО НАВОЗА И КУРИНОГО ПОМЁТА

[1]В.П. Друзьянова, [2]А.А. Захарова, [1]Н.В. Петров

[1]ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Якутск, Россия
[2]ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет
Якутск, Россия

Аннотация. Развитие технологий переработки органических отходов сельскохозяйственного производства является одним из перспективных направлений повышения эффективности использования возобновляемых ресурсов. Особый интерес представляет анаэробное сбраживание конского навоза с получением биогаза и органического удобрения. Для республики Саха (Якутия) данное направление имеет дополнительное значение в связи с необходимостью рационального использования местного сельскохозяйственного сырья и поиска автономных энергетических решений в условиях удалённых конебаз.

Конский навоз является перспективным субстратом для анаэробной переработки, однако его биохимические особенности обусловливают сложность прогнозирования и управления процессом метаногенеза. Повышение эффективности может быть достигнуто за счёт ферментации конского навоза с другими органическими субстратами.

Одним из потенциальных компонентов для ферментации является куриный помёт, характеризующийся высоким содержанием азотсодержащих соединений. Его введение способно изменять питательный состав субстрата и интенсифицировать биологические процессы, но увеличение доли помета может приводить к накоплению аммиака и ингибированию метаногенных микроорганизмов. Поэтому определение рационального соотношения компонентов смеси является важной задачей при разработке технологии анаэробного сбраживания.

В этих условиях математическое моделирование позволяет количественно описывать динамику накопления биогаза, определять кинетические характеристики процесса и оценивать влияние состава субстрата на его эффективность. Существующие математические модели анаэробного сбраживания существенно различаются по степени детализации.

Целью настоящего исследования является анализ существующих математических моделей анаэробного сбраживания и обоснование подхода к моделированию кинетики накопления биогаза при переработке смеси конского навоза и куриного помета с учётом ингибирующего действия аммиачного азота.

Ключевые слова: конский навоз; куриный помет; анаэробное сбраживание; биогаз; ферментация; математическое моделирование; кинетическая модель; метаногенез; аммиачное ингибирование; органические отходы; биогазовая технология.

ANALYSIS OF EXISTING MATHEMATICAL MODELS OF ANAEROBIC DIGESTION PROCESSES FOR THE TREATMENT OF A MIXTURE OF HORSE MANURE AND POULTRY MANURE

[1]V.P. Druzianova, [2]A.A. Zakharova, [1]N.V. Petrov

[1]FSAEI HE North-eastern federal university named after M.K. Ammosov
Yakutsk, Russia
[2]FSBEI HE Arctic state agrotechnological university
Yakutsk, Russia

Annotation. The development of technologies for processing organic agricultural waste is one of the promising areas for increasing the efficiency of renewable resource utilization. Anaerobic digestion of horse manure with the production of biogas and organic fertilizer is of particular interest. For the republic of Sakha (Yakutia), this area is of additional importance due to the need for rational utilization of local agricultural feedstocks and the search for autonomous energy solutions under the conditions of remote horse farms.

Horse manure is a promising substrate for anaerobic treatment; however, its biochemical characteristics make the prediction and control of the methanogenesis process challenging. Increased efficiency can be achieved through the co-digestion of horse manure with other organic substrates.

Poultry manure is one of the potential components for co-digestion due to its high content of nitrogen-containing compounds. Its addition can modify the nutrient composition of the substrate and

intensify biological processes; however, an increase in the proportion of poultry manure may lead to ammonia accumulation and inhibition of methanogenic microorganisms. Therefore, determining the appropriate ratio of the mixture components is an important task in the development of anaerobic digestion technology.

Under these conditions, mathematical modeling makes it possible to quantitatively describe the dynamics of biogas accumulation, determine the kinetic characteristics of the process, and evaluate the effect of substrate composition on its efficiency. Existing mathematical models of anaerobic digestion differ considerably in their level of detail.

The aim of this study is to analyze existing mathematical models of anaerobic digestion and to substantiate an approach to modeling the kinetics of biogas accumulation during the treatment of a mixture of horse manure and poultry manure, taking into account the inhibitory effect of ammonia nitrogen.

Key words: horse manure; poultry manure; anaerobic digestion; biogas; co-digestion; mathematical modeling; kinetic model; methanogenesis; ammonia inhibition; organic waste; biogas technology.

Математическое моделирование анаэробного сбраживания применяется для количественного описания преобразования органического вещества, прогнозирования динамики газообразования, определения кинетических характеристик процесса и выбора рациональных технологических режимов.

В чистом виде куриный помёт не применяется в биогазовых установках, так как избыток азота токсично влияет на метаногены и разрушает их. В работе Андрюхина Т.Я. указано, что процесс оптимален при добавлении к навозу КРС 2-3 % куриного помёта [1]. Такая доза, по их мнению, быстро запускает процесс ферментации, а увеличение дозы уничтожает метаногены и процесс затухает.

Таким образом, в качестве субстрата в данных исследованиях выбрана смесь конского навоза с куриным помётом. Для смеси конского навоза и помёта задача моделирования осложняется неоднородностью субстрата. Конский навоз содержит значительную долю растительных волокон и медленно гидролизуемых компонентов, тогда как куриный помёт характеризуется высокой концентрацией азотсодержащих соединений и потенциальным риском аммиачного ингибирования. Поэтому модель должна учитывать как кинетику разложения органического вещества, так и влияние состава смеси, температуры и продолжительности процесса.

В настоящем разделе рассмотрены модели, представляющие различные уровни детализации анаэробного процесса: международная структурированная модель *ADM*1, модифицированная модель Гомперца и отечественные подходы В.П. Друзьяновой и М.П. Таханова.

Анализ современных математических моделей анаэробного сбраживания показал, что основная часть исследований направлена на оптимизацию процесса с точки зрения максимизации выхода биогаза из одного вида субстрата.

Работы В.П. Друзьяновой представляют особый интерес для исследования биогазовых технологий в условиях республики Саха (Якутия), поскольку относятся к отечественному направлению исследования процессов переработки органического сельскохозяйственного сырья и энергетического использования биогаза [2-5]. Модель В.П. Друзьяновой, описывающая динамику биомассы,

субстрата и биогаза в метантенке полного смешения, является базовой для такого подхода. Уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{dG}{dt} = \eta \cdot k_{br}(pH)(G_{max} \cdot G_{(t)}), \quad (1)$$

где, $G(t)$ – отражает текущий объём биогаза;
G_{max} – характеризует предельный выход газа для конкретного типа субстрата;
$k_{br}(pH)$ – представляет собой pH-зависимую константу скорости;
η – коэффициент, учитывающий эффективность гидровозмущение субстрата.

Важно отметить, что значение $\eta = 1{,}2$ было установлено в ходе серии предварительных экспериментов и подтверждает значительное влияние гидродинамики на интенсивность процесса.

При сбраживании смеси конского навоза и куриного помёта данная модель оказывается неэффективной, так как не учитывает замедление метаногенных бактерий свободным аммиаком. Поскольку при разложении помета концентрация аммиака резко возрастает, модель затрудняет корректную оценку устойчивости процесса при высоких нагрузках азотсодержащего субстрата.

Наиболее известной и детализированной математической моделью анаэробного сбраживания является *Anaerobic Digestion Model* No. 1 (*ADM*1), разработанная рабочей группой *International Water Association* под руководством *D.J. Batstone* и опубликованная в 2002 г. [8, 9]. Целью разработки являлось создание универсальной структурированной модели, способной описывать основные биохимические и физико-химические стадии анаэробного превращения сложного органического сырья.

*ADM*1 последовательно описывает дезинтеграцию сложного органического вещества на углеводы, белки и липиды. Расщепление внеклеточного гидролиза этих компонентов до сахаров, аминокислот и длинноцепочечных жирных кислот. Процессы ацидогенеза, ацетогенеза и образование ацетата и водорода. А также, ацетокластический и водородотрофный метаногенез. Дополнительно учитываются кислотно-основные равновесия и газожидкостный перенос.

В дифференциально-алгебраической реализации *ADM*1 содержит 26 динамических концентрационных переменных состояния и 8 неявных алгебраических переменных для одного реакторного элемента. При реализации исключительно системой дифференциальных уравнений используется 32 динамических концентрационных переменных. Такая детализация является главным преимуществом модели и одновременно причиной высокой сложности её практической идентификации.

Уравнение *ADM*1 имеет следующий вид:

$$\frac{dS_i}{dt} = \frac{Q}{V}\left(S_{i,in} - S_i\right) + \sum_{j=1}^{19} p_j \cdot c_{ij} \quad (2)$$

где S_i – концентрация компонента (кг ХПК/м^3 или кг N/ м^3);
$\frac{Q}{V}$ – скорость разбавления (расход / объём метантенка);
P_j – скорость (j)-й реакции;
C_{ij} – стехиометрический коэффициент компонента (i) в реакции (j).

Основным недостатком этих моделей применительно к инженерным расчётам является их высокая параметрическая нагрузка и сложность

идентификации констант для конкретных субстратов в условиях производственной эксплуатации. Кроме того, данные модели не содержат в своей структуре управляющих воздействий, направленных на компенсацию ингибирования путём изменения состава загружаемой смеси, и ориентированы исключительно на прогноз состава биогаза, а не твёрдой фазы.

Существующие подходы к управлению процессом, например, путём регулирования скорости подачи субстрата в зависимости от уровня *pH*, представленный в работе М.П. Таханова, демонстрируют принцип обратной связи [6].

$$G(t) = G_{max}\left(1 - e^{-\eta \cdot k_{br}(pH) \cdot t}\right), \quad (3)$$

$$k_{br}(pH, \bar{m}) = k_{br0} \cdot \alpha(pH) \cdot f(pH) \cdot \frac{\bar{m}}{\bar{m}_0}, \quad (4)$$

где m – объём загрузки;
η° – коэффициент эффективности гидровозмущения;
C – содержание органического вещества;
Y – удельный выход биогаза;
k_{br0} – коэффициент скорости при оптимальном *pH*;
pH_{opt} – оптимальное значение *pH*;
pH – текущее значение *pH*;
$\bar{m}$ – базовая скорость подачи;
$pH_{крит}$ – критический *pH*.

Однако регулирование общей скорости подачи не обеспечивает стабильность процесса, если в смесь входят два компонента с различными свойствами. Параметр *pH*, кроме того, выступает как запаздывающий индикатор, особенно в щёлочной области, где может происходить накопление токсичного аммиака при внешне благоприятных значениях кислотности. Следовательно, такая система управления не может предотвратить замедление процесса, вызванное именно добавкой куриного помета.

Кинетические модели для совместного сбраживания, например, модифицированная модель Гомперца, позволяют оценить общий выход биогаза от заранее заданной смеси, но являются статическими [7, 10]. Модель имеет следующий вид:

$$G_t = A \cdot exp\left\{-\exp\left[\frac{\mu_m \cdot \exp(1)}{A}(\lambda - t) + 1\right]\right\}, \quad (5)$$

где G_t – выход биогаза в момент времени t;
A – максимальный потенциал выхода биогаза;
μ_m – максимальная скорость производства биогаза;
λ – продолжительность дней, время до начала активного производства биогаза;
t – время с начала процесса (дни).

Они не описывают динамику процесса в метантенке и не предусматривают возможности оперативного изменения соотношения компонентов в ответ на изменение текущей активности микрофлоры или для предотвращения накопления ингибиторов. Таким образом, эти модели не могут служить основой для разработки системы адаптивного управления.

Проведённый анализ математических моделей анаэробного сбраживания показал, что существующие подходы различаются по степени детализации,

назначению и набору учитываемых факторов. Модель *ADM*1 обеспечивает наиболее полное описание биохимических и физико-химических стадий анаэробного процесса, однако её высокая параметрическая сложность затрудняет идентификацию модели для конкретного вида сельскохозяйственного сырья и практическое применение в условиях малых и автономных биогазовых установок.

Кинетическая модель Гомперца позволяет достаточно просто описывать динамику накопления биогаза и определять основные кинетические параметры процесса, однако рассматривает состав субстрата как заранее заданный и не учитывает изменение условий процесса вследствие накопления ингибирующих соединений. Модели, учитывающие влияние *pH* и гидродинамических факторов, расширяют возможности описания процесса, но не обеспечивают полноценного учёта специфического воздействия куриного помета при его совместном сбраживании с конским навозом.

Для рассматриваемой смеси основным фактором, ограничивающим увеличение доли куриного помета, является потенциальное накопление аммиачного азота и связанное с ним ингибирование метаногенных микроорганизмов. Поэтому математическая модель процесса должна учитывать не только время сбраживания и общий потенциал образования биогаза, но и массовую долю куриного помёта в исходной смеси, концентрацию аммиачного азота и соответствующий коэффициент ингибирования.

Таким образом, проведённый анализ показывает, что существующие модели не обеспечивают одновременного учёта состава смеси конского навоза и куриного помёта, аммиачного ингибирования и динамики выхода биогаза в форме, удобной для последующего практического управления процессом. Выявленный пробел обосновывает необходимость разработки адаптированной математической модели кинетики накопления биогаза.

Список литературы

1. *Андрюхин Т.Я., Буренков В.С.* Опыт анаэробного сбраживания птичьего помета при различных температурных режимах / Тезисы докладов совещания «Биогаз-87». – Рига, 1987. – С.

2. *Друзьянова, В.П.* Энергосберегающая технологи я переработки крупного рогатого скота. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Вост.-Сиб. гос. ун-т технологий и упр.. Улан-Удэ, 2015.

3. *Друзьянова, В.П.* Возможности использования биогаза в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания. Журнал Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, 2017.

4. *Друзьянова, В.П.* Обоснование экономико-математической модели эффективно-сти предлагаемой технологической линии на основе биогазовой технологии / *В.П. Друзьянова, О.С. Едисеев* // Вестник ВСГУТУ. – 2025. – № 2(97). – с. 78-84. – DOI 10.53980/24131997_2025_2_78.

5. *Друзьянова, В.П.* Анализ способов получения альтернативной энергии в условиях Якутии [Текст] / *В.П. Друзьянова, Н.В. Петров* // Тинчуринские чтения : сб. тр. VII Междунар. науч. конф. - Казань, 2012. – С. 99.

6. *Таханов, М.П.* Математическая модель для анализа работы метантенка / *М.П. Таханов, Н.В. Петров* // Дальневосточный аграрный вестник. – 2025. – Т. 19, № 3. — С. 78-83.

7. *Alfa M.I., Owamah H.I., Onokwai A.O.* [et al.]. Evaluation of biogas yield and kinetics from the anaerobic co-digestion of cow dung and horse dung: a strategy for sustainable management of livestock manure // Energy, Ecology and Environment. – 2021. – Vol. 6, № 5. – P. 425-434. – DOI: 10.1007/s40974-020-00203-0.

8. *Batstone D.J., Keller J., Angelidaki I., Kalyuzhnyi S.V., Pavlostathis S.G., Rozzi A., Sanders W.T.M., Siegrist H., Vavilin V.A.* The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1) // Water Science and Technology. 2002. Vol. 45, No. 10. P. 65-73. DOI: 10.2166/wst.2002.0292.

9. *Batstone D.J., Keller J., Angelidaki I.* et al. Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1). London: IWA Publishing, 2002.

10. *Song L., Li D., Cao X.* [et al.]. Optimizing biomethane production of mesophilic chicken manure and sheep manure digestion: Mono-digestion and co-digestion kinetic investigation, autofluorescence analysis and microbial community assessment // Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 237. – P. 103-113. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.02.050.

Сведения об авторах

Друзьянова Варвара Петровна – доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. республика Саха (Якутия), Якутск, Россия. druzvar@mail.ru.

Захарова Аэлина Александровна – аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет, республика Саха (Якутия), Якутск, Россия. aelael@inbox.ru.

Петров Николай Вадимович – доктор технических наук, доцент, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова республика Саха (Якутия), Якутск, Россия. petnikvad1988@mail.ru.

Information about the authors

Druzianova Varvara P. – doctor of technical sciences, professor, North-Eastern federal university named after M.K. Ammosov, Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), Russia. E-mail: druzvar@mail.ru.

Zakharova Aelina A. – PhD student, Arctic state agrotechnological university, Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), Russia. E-mail: aelael@inbox.ru.

Petrov Nikolai V. – doctor of technical sciences, associate professor, North-Eastern federal university named after M.K. Ammosov, Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), Russia. E-mail: petnikvad1988@mail.ru.

УДК 625.71

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВА ПО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЮ СЦЕПНОГО ВЕСА АВТОПОЕЗДА

А.А. Волков, Д.С. Шишлов, С.А. Филонов, А.А. Бутенко, Е.Е. Кузнецов

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет
Благовещенск, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований устройства перераспределения нагрузки с выравнивающим механизмом для автопоезда. Приведены данные, подтверждающие эффективность перераспределения сцепного веса между буксирующим автомобилем (КамАЗ) и прицепом 2ПТС-6М в различных режимах работы

устройства. Установлено, что применение предложенной конструкции позволяет целенаправленно изменять нагрузку на оси автопоезда, что способствует повышению тягово-сцепных свойств и устойчивости движения, расширяя его технологические свойства.

Ключевые слова: автопоезд, перераспределение нагрузки, сцепной вес, буксование, проходимость, тягово-сцепное устройство, выравнивающий механизм.

EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF THE DISTRIBUTION OF THE COUPLING WEIGHT OF A ROAD TRAIN

A.A. Volkov, D.S. Shishlov, S.A. Filonov, A.A. Butenko, E.E. Kuznetsov

FSBEI HE Far eastern state agrarian university
Blagoveshchensk, Russia

Аннотация. The article presents the results of experimental studies of a load redistribution device with a leveling mechanism for a road train. Data are presented confirming the effectiveness of redistributing the coupling weight between the towing vehicle (KamAZ) and the 2PTS-6M trailer under various operating modes of the device. It has been established that the use of the proposed design makes it possible to purposefully change the load on the axles of the road train, which contributes to improving traction and coupling properties and driving stability, expanding its technological capabilities.

Key words: road train, load redistribution, coupling weight, slipping, cross-country ability, towing device, equalizing mechanism.

Повышение эффективности использования автомобилей с прицепами в условиях бездорожья, скользких дорог, глубокого снежного покрова и слабонесущих грунтов является актуальной задачей современного транспорта. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является применение дополнительных вспомогательных устройств, обеспечивающих перераспределение весовой нагрузки между звеньями автопоезда [1, 2].

Известные устройства повышения проходимости колёсных тракторов с прицепами (патент РФ № 2297938) и устройства перераспределения нагрузки для автопоезда (патент РФ № 2823307) обладают рядом недостатков: недостаточная жёсткость фиксации, недолговечность гибких тросовых элементов, невозможность использования в повороте автопоезда, неконтролируемое смещение тросовой связи [3].

Предлагаемое устройство перераспределения нагрузки с выравнивающим механизмом для автопоезда лишено указанных недостатков и обладает усиленной конструкцией плоской пружины рессорного типа за счёт её сдваивания, высокой надёжностью и простотой изготовления [4], (рисунок 1 и 2).

Целью настоящей работы является экспериментальное подтверждение эффективности перераспределения сцепного веса автопоезда при использовании разработанного устройства.

Предлагаемое устройство работает в двух основных режимах:

Режим 1 – Догружение ТСУ, ходовой системы и ведущих колёс буксирующего автомобиля;

Режим 2 – Догружение передней оси прицепа.

Объектом исследования является автопоезд в составе буксирующего автомобиля марки КамАЗ-43114 и прицепа 2ПТС-6М, оборудованный устройством перераспределения нагрузки с выравнивающим механизмом.



Рисунок 1 – **Фрагмент проведения экспериментальных исследований**



Рисунок 2 – **Устройство перераспределения нагрузки с выравнивающим механизмом для автопоезда**

Для проведения эксперимента использовались:

• Тензометрические датчики для измерения усилий в тросовых силовых связях;

• Датчики нагрузки для измерения вертикальных реакций на осях автомобиля и прицепа;

• *GPS*-трекер для регистрации траектории движения;

• Средства измерения буксования ведущих колёс.

В ходе эксперимента измерялись вертикальные нагрузки на переднюю, среднюю и заднюю оси автомобиля КамАЗ, а также на переднюю и заднюю оси прицепа. Дополнительно фиксировались усилие натяжения в тросовой силовой связи (нагрузка), величина растяжения пружины и ход троса.

Испытания проводились на твёрдом покрытии (асфальт / бетон), количество измерений каждого показателя – 5 повторений.

В таблице 1 представлены результаты измерений распределения нагрузки по осям автопоезда в статическом режиме и в различных режимах догружения.

Таблица 1 – **Результаты измерения перераспределения нагрузки по осям автопоезда**

Режим работы устройства	**Ось автомобиля КамАЗ**			**Ось прицепа**		**Нагрузка (усилие), кгс**	**Растяжение пружины, мм**	**Ход троса, мм**
	Пер. ось	Ср. ось	Зад. ось	Пер. ось	Зад. ось			
Догружение прицепа	4580	2480	2390	1335	765	1460	39	26
Догружение автомобиля	4210	2910	2935	765	730	1460	39	26
Среднее положение	4520	2340	2715	1240	735	1460	39	26

Для удобства анализа результаты измерений представлены в виде графиков на рисунке 3 и 4.

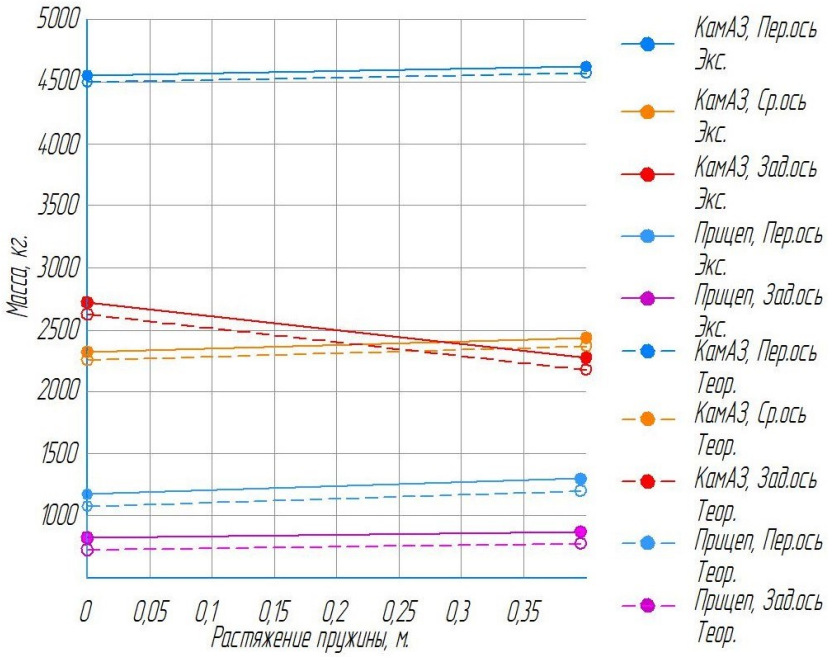


Рисунок 3 – **График зависимости догружения от растяжения пружины возвратного механизма (режим 1, догружение прицепа)**

На графике (рисунок 3) представлено сравнение экспериментальных (эк.) и теоретических (теор.) зависимостей изменения вертикальных нагрузок на оси автопоезда от растяжения пружины в режиме догружения прицепа. Анализ графика показывает, что экспериментальные кривые нагрузок на переднюю ось прицепа (прицеп, пер. ось эк.) и переднюю ось автомобиля КамАЗ (КамАЗ, пер. ось

эк.) имеют наибольший рост с увеличением растяжения пружины. Это подтверждает, что в данном режиме основная часть перераспределяемой нагрузки направлена на догружение передней оси прицепа, что обеспечивает стабилизацию его прямолинейного движения и снижение рыскания. Теоретические зависимости (теор.) совпадают с экспериментальными данными в пределах коридора адекватности, что свидетельствует о корректности принятой математической модели и адекватности теоретических расчётов.

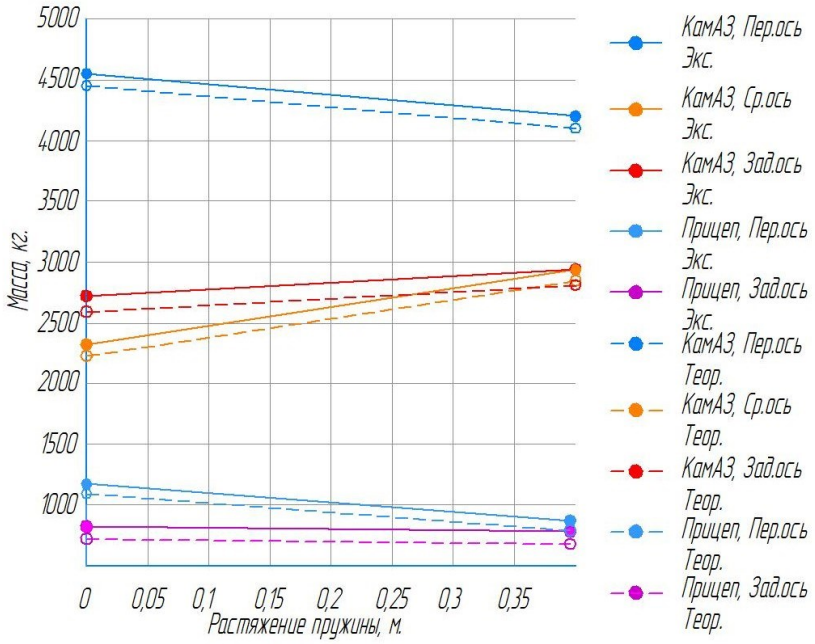


Рисунок 4 – **График зависимости догружения от растяжения пружины возвратного механизма (режим 2, догружение автомобиля)**

На графике (рисунок 4) представлены зависимости изменения нагрузок на оси автопоезда в режиме догружения автомобиля. В отличие от предыдущего режима, здесь наблюдается более интенсивный рост нагрузок на среднюю (КамАЗ, ср. ось эк.) и заднюю (КамАЗ, зад. ось эк.) оси автомобиля КамАЗ. При этом нагрузки на оси прицепа (прицеп, пер. ось эк. и прицеп, зад. ось эк.) снижаются или остаются на низком уровне. Это подтверждает эффективность устройства для повышения тягово-сцепных свойств буксирующего автомобиля, что критически важно при движении по скользким дорогам и бездорожью. Как и на рисунке 1, теоретические кривые (теор.) адекватно согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает верность теоретических расчётов.

Таким образом, на основании проведённых исследований можно сделать следующие обоснованные выводы:

1. Экспериментально подтверждена эффективность применения устройства, направленного на использование перераспределения сцепного веса автопоезда с целью расширения технологических параметров автопоезда;

2. Доказано, что в режиме 2 – «Догружение автомобиля» силовая нагрузка на заднюю ось автомобиля КамАЗ увеличивается на 545 кг (5,45 кН), что

способствует снижению буксования ведущих колёс и повышению тягового усилия согласно известных формульных зависимостей;

3. В режиме 1 – «Догружение прицепа» нагрузка на переднюю ось прицепа увеличивается на 570 кг (5,7 кН), что обеспечивает стабилизацию прямолинейного и траекторного движения, а также обеспечивает снижение эффекта рыскания прицепа.

Полученные результаты позволяют утверждать, что применение предложенного перераспределяющего устройства положительно влияет на технологические характеристики автопоезда и перспективно в масштабной установке на грузовых автомобилях, оборудованных лебёдочными натяжными устройствами.

Список литературы

1. Патент РФ № 2297938, МКИ B62D53/04. Устройство повышения проходимости колёсных тракторов, агрегатируемых с прицепом. Заявка: 2005138232/11, 08.12.2005. Опубликовано: 27.04.2007 Бюл. № 12. https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet.

2. Патент РФ № 2823307, МКИ B62D53/04. Устройство перераспределения нагрузки для автопоезда. Заявка: 2024108954, 04.04.2024. Опубликовано: 22.07.2024. Бюл. № 21. https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet.

3. *Щитов, С.В.* [и др.] Исследование тягово-сцепных свойств автопоездов в сложных дорожных условиях // Дальневосточный аграрный вестник. – 2023. – № 4. – С. 45-52.

4. *Кузнецов Е.Е., Беляков Д.В., Вторников А.С.* Экспериментальные исследования технико-эксплуатационных показателей колесного энергетического средства в производственных условиях // Аграрный научный журнал. 2024. – No 12. – С. 156-163. DOI: doi.org/10.28983/asj.y2024i12pp156-163.

Сведения об авторах

Волков Артем Алесандрович – студент магистратуры. Дальневосточный Государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(914)3949507, email: arhivolk5644@gmail.com).

Шишлов Дмитрий Сергеевич – студент магистратуры. Дальневосточный Государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(984)1442338, email: shishlovps@gmail.com).

Филонов Сергей Александрович – соискатель, Дальневосточный Государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(914)5565847, email: filonov89@gmail.com).

Бутенко Алексей Александрович – соискатель, Дальневосточный Государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(917)0197012, email: kartongenroyal@gmail.com).

Кузнецов Евгений Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов. Дальневосточный Государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(961)9523270, email: ji.tor@mail.ru).

Information about the authors

Volkov Artem A. – master's degree student. Far Eastern state agrarian university (675005, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya st. 86, tel.: 8(914)3949507, email: arhivolk5644@gmail.com).

Shishlov Dmitry S. – master's degree student. Far Eastern state agrarian university (675005, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya st. 86, tel.: 8(984)1442338, email: shishlovps@gmail.com).

Filonov Sergey A. – applicant, Far Eastern state agrarian university (675005, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya st. 86, tel.: 8(914)5565847, email: filonov89@gmail.com).
Butenko Alexey A. – applicant, Far Eastern state agrarian university (675005, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya st. 86, tel.: 8(917)0197012, email: kartongen-royal@gmail.com).
Kuznetsov Evgeny E. – doctor of technical sciences, professor of the department of operation and repair of transport and technological machines and complexes. Far Eastern state agrarian university (675005, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya st. 86, tel.: 8(961)9523270, email: ji.tor@mail.ru).

УДК 631.3

К ОЦЕНКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЛОЩАДИ РЕМОНТНОЙ МАСТЕРСКОЙ ООО «ЮНИК»

[1]А.В. Еранский, [2]Г.М. Бураева

[1]ООО «Юник»
Иркутск, Россия
[2]ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Гармоничное развитие всех составляющих технического сервиса создаёт выгодные условия для производственной деятельности его участников: производителей машин, их потребителей и посредников. Поиск резервов производственных площадей являет непрерывный процесс, требующий вовлеченности всех подразделений предприятия и использования современных аналитических инструментов. Успех зависит от грамотного сочетания организационных мер, внедрения технологий и постоянного анализа результатов. Рассматривается метод решения задачи оценки соответствия расчётной площади ремонтной зоны предприятия технического сервиса нормативным требованиям. рационального использования производственной площади предприятия технического сервиса с мелкосерийным типом производства. Роль этих предприятий в обеспечении работоспособности машин подчёркивается отсутствием на рынке высокотехнологичных ремонтно-обслуживающих заводов и специализированных технических центров с многономенклатурной программой ремонта. В работе предложены расчёты по эффективности использования производственной площади ремонтной мастерской и предложены меры по её реконструкции.

Ключевые слова: ремонт, производственная площадь, мастерская, реконструкция, расчёт, эффективность.

TO THE ASSESSMENT OF THE PRODUCTION AREA OF THE REPAIR SHOP OF LLC “UNIK”

[1]A.V. Eransky, [2]G.M. Buraeva

[1]LLC “Unik”
Irkutsk, Russia
[2]FSBEI HE rkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The harmonious development of all components of technical service creates favorable conditions for the production activities of its participants: machine manufacturers, their consumers, and intermediaries. Searching for reserves of production space is an ongoing process that requires the involvement of all departments of the enterprise and the use of modern analytical tools. Success depends on a competent combination of organizational measures, the introduction of technologies, and the constant analysis of results. The method for solving the problem of assessing whether the calculated area of the repair zone of a technical service enterprise meets regulatory requirements is considered. Rational use of the production space of a technical service enterprise with a small-scale production type.

Key words: repair, production area, workshop, reconstruction, calculation, efficiency.

Предприятия агротехнического сервиса выполняют важную работу по восстановлению работоспособного состояния и возвращению в строй дорогостоящей отечественной и импортной техники, их узлов и агрегатов [1]. Неэффективное использование производственных площадей этих предприятий ведёт к росту издержек на их содержание (отопление, освещение, водообеспечение и т.д.), снижает конкурентоспособность на рынке агротехнических услуг, не позволяет наращивать выпуск отремонтированной продукции [2]. Оценка производственной площади предприятия, в числе других мер, позволяет выявить дисбаланс между текущими мощностями и реальными потребностями и наметить пути улучшения ремонтного производства за счёт внутренних резервов [3].

К площадям ремонтного предприятия относятся площади, занятые технологическим оборудованием, рабочими местами, наземными транспортными устройствами, находящимися около рабочих мест и оборудования, а также рабочими зонами, проходами и проездами между оборудованием. В ремонтной мастерской все помещения подразделяются на производственные и непроизводственные [4].

Площадь производственных участков и помещений определяется различными способами: по удельной площади на одного рабочего (таблица 1), на одно рабочее место, на один физический, условный или приведённый ремонт, по площади, занимаемой оборудованием [5].

Трудоёмкость ремонтных работ по мастерской составила в 2025 году $T_{об} = 32400$ чел-ч. Программа ремонта была рассчитана из средней трудоёмкости ремонта условного объекта равной 247 чел.-ч.

Списочный состав производственных рабочих $P_{сп}$ используют для расчёта общего состава работающих на предприятии, его рассчитывают по действительному фонду времени [6]:

$$P_{\text{сп}} = \frac{T_o}{\Phi_д \cdot K} \quad (1)$$

где T_o – объём работ участка или мастерской за планируемый период, чел-ч.;
$\Phi_д$ – действительный годовой фонд времени рабочего, ч.;
K – планируемый коэффициент перевыполнения норм выработки.

Рассчитанное число рабочих с округлением значений в большую сторону до целого числа приведено в таблице 2.

Расчёт потребной площади отделения по количеству условных ремонтов может быть определена по формуле:

$$F_y = W \cdot f_{уд}, \quad (3)$$

где W – программа мастерской в условиях ремонтах;

$f_{уд}$ – удельная площадь постов, условного ремонта, для условий хозяйства.

$$W = \frac{T_{об}}{\overline{t_м}}, \quad (4)$$

где $T_{об}$ – общая трудоёмкость мастерской;

$\overline{t_м}$ – средняя трудоёмкость ремонта условного объекта в месяц.

$$W = \frac{32400}{247} = 131 \text{ усл. рем.}$$

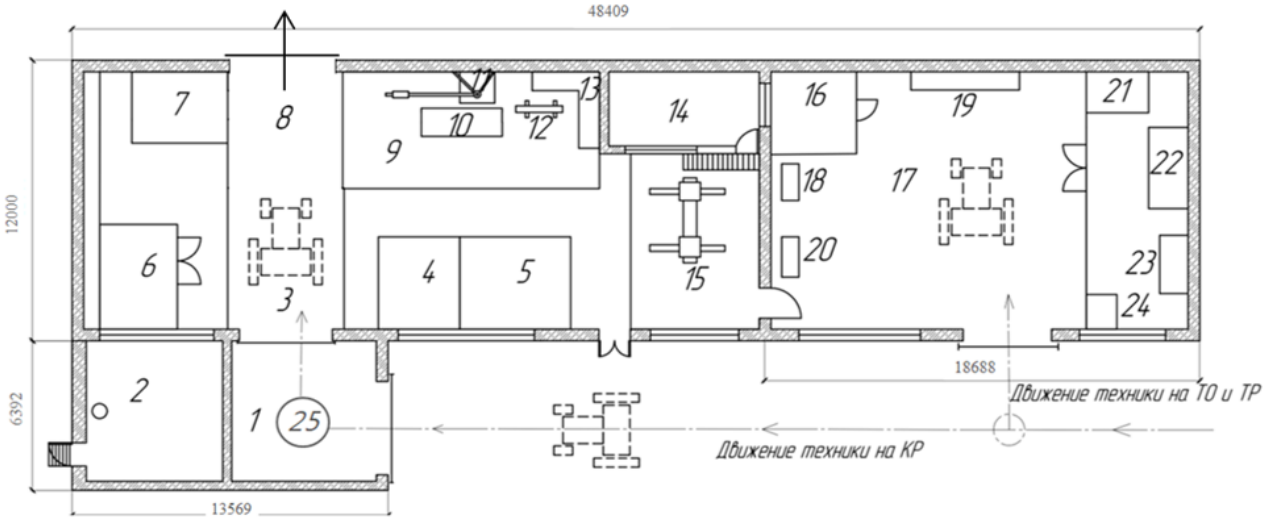
Таблица 1 – **Норматив удельной площади на одного рабочего**

	Наименование поста	**Коэффициент**
1	Разборочно-моечное	25…30
2	Контрольно-сортировочное, комплектовки	15…17
3	Ремонт электрооборудования и аккумуляторов	18…20
4	Ремонт топливной аппаратуры	15…20
5	Ремонт гидроаппаратуры	15…20
6	Металлообработка резанием	10…12
7	Слесарные работы	10…12
8	Кузнечно-термический	24…26
9	Электросварочный и наплавочный	15…20
10	Газосварочный и наплавочный	15…20
11	Медницкий и ремонт радиаторов	15…20
12	Жестяницкий и ремонт кабин, оперения	10…12
13	Полимерные работы	15…17
14	Вулканизационный	15…20
15	Столярно-обойный	10…12
16	Сборка двигателей	25…30
17	Обкатка и испытание двигателей	25…30
18	Малярный	35…40

Рассчитанные значения площадей участков ремонтной мастерской ООО «Юник» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – **Производственные площади участков ООО «Юник»**

Наименование поста	**Число списочных рабочих, *Р***	**Производственная площадь, м²**
Наружная очистка и мойка	1	39,4
Разборочно-моечный	2	95,6
Дефектовочный	1	26,2
Слесарно-подготовительный	2	27,2
Сборочный	3	163,1
Испытательный	1	20,8
Ремонт ТО	1	10,6
Слесарный	1	18,6
Станочный	4	46,6
Сварочный	1	13,5
Ремонт и обслуживание гидродинамических систем	1	18,3
	18	479,9



1. Участок приёмки и мойки техники
2. Автономная котельная
3. Участок дефектовки и разборки
4. Пост ремонта гидравлических систем
5. Пост ремонта топливных систем
6. Участок ремонта ДВС
7. Моечная машина деталей и узлов
8. Сборочный участок
9. Участок ремонта трансмиссий
10. Стенд обкатки КПП
11. Консольно-поворотный кран
12. Стапель разборки-сборки ведущего бала
13. Верстак для сборки фрикционов
14. Помещение для персонала
15. Портальный подъёмник
16. Склад расходных материалов и ГСМ
17. Участок ТО и ТР
18. Пресс для выпрессовки подшипников и сайлентблоков
19. Стеллаж для временного хранения и инструмента
20. Воздушный компрессор
21. Фрезерный станок
22. Токарный станок
23. Верстак для слесарных работ
24. Сверлильный станок

Рисунок 1 – **План ремонтной мастерской ООО «Юник»**

Площадь складов для хранения запчастей и материалов, м^{2,} находим по формуле [7]:

$$F = \frac{W \cdot q \cdot s}{\eta}, \quad (5)$$

где q_o = 1 – средняя допустимая нагрузка;
η_x = 2 – число ярусов хранения.

$$F = \frac{131 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5}{2} = 16{,}4 \text{ м}^2. \quad (6)$$

Площадь конторы для ИТР и служащих – 20 м^2;
Площадь под умывальники – 1,45 м^2;
Площадь, занимаемая душевыми – 7,2 м^2;
Площадь, занимаемая туалетами – 5,8 м^2;
Площадь комнаты под курение – 8 м^2.
Общая площадь мастерской:

$$F_{\text{общ}} = 479{,}9 + 20 + 1{,}45 + 7{,}2 + 5{,}8 + 8 = 538{,}75 \text{ м}^2.$$

Участок ТО и ТР 17 расположен в отдельном помещении. Неудобство такого расположения участка в том, что подлежащие ремонту объекты после диагностики покидают участок и перемещаются в ремонтную зону путём обратного выезда (вывоза) на улицу (рисунок1). Этим нарушается организация доставки

объекта в ремонтную зону за минимальное время и с минимальными трудовыми затратами.

В ремонтной зоне на участке приёмки и мойки объект проходит подготовку к ремонтным воздействиям и поступает на пост разборки и дефектовки. Производственные посты расположены по обеим сторонам от расположения объекта ремонта. Слева на плане размещён моторный участок с постами 6 и 7, справа – участки по ремонту трансмиссий, гидросистем, топливных систем и другие участки. Сборка и контроль сборки объекта проводится на участке 8 после чего его направляют на испытательный полигон.

Таблица 3 – **Анализ использования производственной площади предприятия**

Показатель	**2025 г.**	**На 01.09.26**	
Объём выпуска продукции, шт.	131	95	87
Производственная площадь, м^2	286,8	268,8	286,8
Выпуск продукции на 1 м^2 производственной площади, шт.	0,48	0,35	0,13

В рассматриваемом случае мы наблюдаем снижение показателя, что свидетельствует о недостаточно полном использовании производственных площадей. Для повышения эффективности работы предприятия необходима его внутренняя реконструкция с объединением зоны ТО и диагностики в единую ремонтно-сервисную систему предприятия. Для этого необходимо демонтировать стену между производственными участками и перестроить планировку мастерской по схеме поточно-узлового ремонта, суть которой в том, что разборка и сборка машины в целом выполняются на поточной линии, а восстановление отдельных узлов и деталей – на специализированных рабочих местах. Его внедрение требует серьёзной подготовительной работы: унификации узлов, создания оборотного фонда запчастей и перестройки организации труда ремонтных бригад. В плане реконструкции необходимо предусмотреть создание испытательного отделения для проверки правильности проведения сборочных операций агрегатов и машин.

Вывод. При анализе степени эффективности использования всей площади цеха в качестве основного принимается показатель выпуска продукции с одного квадратного метра общей площади цеха.

Список литературы

1. *Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А.* Актуальность развития вторичного рынка сельскохозяйственной техники в АПК России // Технический сервис машин. 2025. Т. 63. N1. С. 20-27. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-20-27. EDN: NCGROE.

2. *Бураева, Г.М.* К организации ремонта машин на предприятии технического сервиса / *Г.М. Бураева*, *А.В. Шистеев*, *М.К. Бураев* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», п. Молодежный, 25-26 апреля 2024 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 173-179. – EDN BMZZQO.

3. *Журавлёв, С.Ю.* Современные формы ремонта сельскохозяйственной техники

(обзор) // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (101). С. 139 - 146.

4. *Аносова, А.И.* Показатели для оценки технологического уровня предприятия технического сервиса / *А.И. Аносова*, *М.К. Бураев* // Образование и наука: Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов и 100-летию со дня рождения первого ректора ВСГУТУ Д.Ш. Фролова, Улан-Удэ, 07-11 апреля 2025 года. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2025. – С. 12-16. – EDN AHXRKL.

5. *Тойгамбаев, С.К.* Расчет себестоимости одного условного ремонта на примере трактора МТЗ-80 // International journal of professional science. – 2020. – № 4. – С.87-95.

6. *Юдин, М.И*. Организация ремонтно - обслуживающего производства в сельском хозяйстве: Учебник / М.И. Юдин, Н.И. Стукопин, О.Г. Ширай – КГАУ. – Краснодар, 2007. - с. 944.

7. *Филатов, М.И*. Формирование резерва запасных частей для ремонта транспортно-технологических машин / *М.И. Филатов*, *О.В. Юсупова* // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 10 (171). – С. 213-218. – EDN TPNRNR.

Сведения об авторах

Еранский Александр Геннадиевич – инженер ООО «Юник» г. Иркутск.

Бураева Галина Михайловна – старший преподаватель кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(3952)237431, e-mail: n4viva@yandex.ru).

Information about the authors

Eransky Alexander G. – engineer, Unik LLC, Irkutsk, Russia.

Buraeva Galina M. – senior lecturer, department of technical service and general engineering disciplines, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 83952237431, e-mail: n4viva@yandex.ru).

УДК 631.356.4:658.562

ИСПЫТАНИЯ КЛУБНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОВРЕЖДЕНИЯМ

В.Д. Коваливнич, **А.В. Кузьмин**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматривается процесс испытания клубней во время селекционного процесса. Сделан сравнительный анализ результатов испытания нескольких сортов картофеля. Выявлены основные закономерности испытаний. Применение в селекционном процессе технических устройств для оценки клубней позволит существенно снизить затраты. Полученные результаты исследований помогут корректировать кинематические параметры рабочих органов уборочных машин.

Ключевые слова: клубни картофеля, механические повреждения, оценка, устойчивость, испытания.

TESTS OF TUBERS FOR STABILITY ON A SIMULATOR

V.D. Kovalivnich, **A.V. Kuzmin**

SBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article discusses the process of testing tubers during the breeding process. A comparative analysis of the test results of several potato varieties is made. The main patterns of testing are revealed. The use of technical devices for evaluating tubers in the breeding process will significantly reduce costs. The obtained research results will help to adjust the kinematic parameters of the working bodies of harvesting machines.

Key words: breeding, damage, assessment, stability, tuber, kinematic parameters, technical means.

Введение. В России сейчас активно развивают сельское хозяйство, особенно растениеводство [1, 2]. Одним из направлений является селекция картофеля для повышения эффективности этого процесса мы предлагаем применять современные технические средства (рисунок 1).

Мякоть клубня картофеля по-разному реагирует на механические воздействия, такие как удары. Эта реакция зависит от направления, скорости, силы и времени удара, а также от других факторов. Современные исследования подтверждают, что механические повреждения мякоти, вызывающие болезни и усыхание при хранении, чаще всего происходят при ударе клубней о рабочие части уборочных машин во время уборки. Ключевыми факторами является определенная комбинация характеристик ударного воздействия при обычной автоматизированной уборке.



Рисунок 1 – **Внешний вид имитатора**

В ходе испытаний сортов Сарма, Бабр и Нерпёнок были выявлены следующие результаты: Сорт Сарма показал, что обдир кожуры с ¼ до ½ поверхности

клубня наблюдается в среднем в 0,87 случаях на один клубень. Потемнения мякоти встречались в среднем в 0,2 случаях на один клубень. Сорт Бабр продемонстрировал отсутствие повреждений первого вида в среднем на один клубень. Потемнения мякоти наблюдались в среднем в 0,3 случаях на один клубень. Сорт Нерпёнок показал, что обдир кожуры с ¼ до ½ поверхности клубня встречается в среднем в 0,14 случаях на один клубень. Потемнение мякоти отмечались в среднем в 0,11 случаях на один клубень.

Среди всех описанных повреждений самыми опасными являются потемнения мякоти. Они приводят к усыханию мякоти, потери массы и ухудшению вкусовых качеств, что увеличивает риск гниения. В тоже время, повреждения в виде содранной кожуры, затрагивающие даже меньшую часть клубня, при хранении зарастают и переносятся легче.

С третьего года после выведения рекомендуется ежегодно оценивать устойчивость к механическим повреждениям. Кроме того, проводятся основное и конкурсное испытания. Для уборки используют стандартный комбайн или картофелекопатель. Чтобы обеспечить нормальный процесс, длина делянки, которая состоит из двух рядков, должна быть не менее 35-40 метров.

Стоимость уборки картофеля с помощью комбайна (*Grimme DR*-1500) по технологической карте, например, для сорта Бабр, сотсавляет 28531 руб. на 15 га. Это эквивалентно 1902,07 руб./га. В тоже время, годовые затраты с использованием имитатора составляют 349,93 руб.

Следовательно, расходы на уборку картофеля комбайном, учитывая его устойчивость, примерно на 80 % превышают приведённые годовые затраты с применением технических средств. В связи с этим, были получены следующие патенты на изобретения [3, 4].

Цель работы: анализ результатов испытаний нескольких сортов на устойчивость к разным видам повреждений и анализ параметров имитатора.

Чтобы установить параметры имитатора повреждений, мы изучили его работу. Рассмотрим запуск имитатора. Процесс начинается с движения клубня:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp}.$$

$$m\left(\vec{a}_{\text{пер}} + \vec{a}_{\text{отн}} + \vec{a}_{\text{кор}}\right) = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp}, \quad (1)$$

где $m\vec{a}$ – сила, действующая на клубень, при вращении имитатора;

$m\vec{g}$ – сила тяжести, действующая на клубень;

$\vec{N}$ – нормальная составляющая сил при вращении имитатора;

$\vec{F}_{mp}$ – сила трения при движении клубня по лопасти;

m – масса клубня;

$\vec{a}_{\text{пер}} + \vec{a}_{\text{отн}} + \vec{a}_{\text{кор}}$ – сумма ускорений, действующих на клубень ($\vec{a}_{\text{пер}}$ – переносного движения (вращения);

$\vec{a}_{\text{отн}}$ – относительного движения (вдоль лопасти), $\vec{a}_{\text{кор}}$ – ускорение Кориолиса;

Рассмотрим этап взаимодействия клубня с наклонной плоскостью.

Проведём детальный разбор этой стадии движения.

$$v_{x'} = gt\sin a + v'\sin\beta.$$

$$v_{Y'} = -gt\cos a + v'\cos\beta, \quad (2)$$

где $v_{x'}$ – проекция на ось x' скорости отскока клубня от наклонной поверхности после удара;

$gt\sin a$ – проекция составляющей скорости отскока клубня от силы тяжести на ось x';

$v'\sin\beta$ – проекция составляющей скорости отскока клубня от на ось x';

$v_{Y'}$ – проекция на ось Y'скорости отскока клубня от наклонной поверхности после удара;

$gt\cos a$ – проекция составляющей скорости отскока клубня от силы тяжести на ось Y';

$v'\cos\beta$ – проекция составляющей скорости отскока клубня от на ось Y';

Получим следующие уравнения:

$$x' = g\frac{t^2}{2}\sin a + v't\sin\beta + \frac{x_0}{\cos a},$$
$$y' = -\frac{gt^2}{2}\cos a + v't\cos\beta, \quad (3)$$

где x' – параметрическое уравнение движения клубня после удара на ось x';

y' – параметрическое уравнение движения клубня после удара на ось Y';

t^2 – квадрат времени удара клубня.

Откуда следует:

$$x' = \frac{v'^2\sin 2\beta}{4g\cos a} + \frac{v'^2\cos^2\beta\sin a}{8g\cos^2 a} + \frac{x_0}{\cos a}. \quad (4)$$

В итоге имеем:

$$v_x = v'_{x'}\cos a,$$
$$v_y = -gt - v'_{x'}\sin a. \quad (5)$$

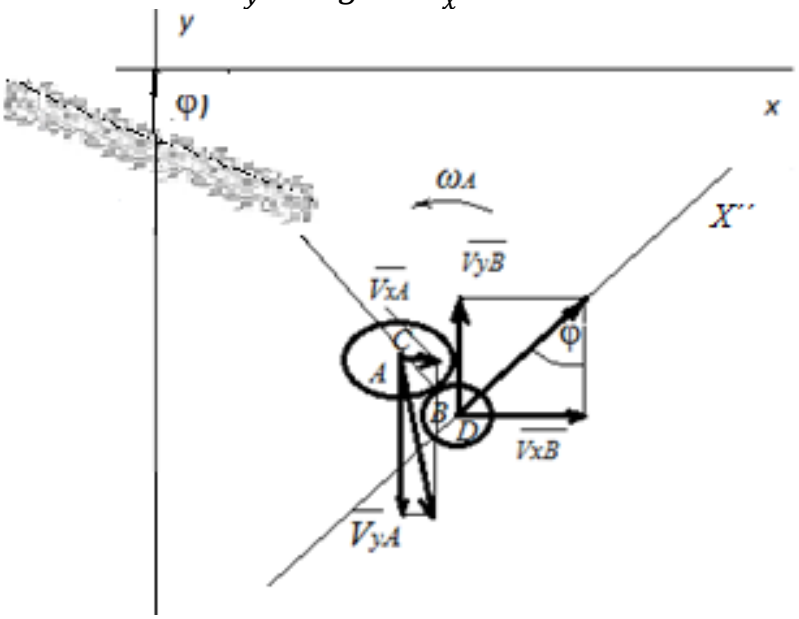


Рисунок 2 – **Удар клубня с поверхностью имитатора**

Проведя математический анализ представленных данных и сопоставив его результаты с экспериментальными данными, мы приходим к следующим заключениям.

Выводы:

• Скорости соударения клубней, полученные при испытаниях в имитаторе (рисунок 2), соответствуют диапазону скоростей, с которыми клубни ударяются о рабочие органы уборочных машин: от 0,5 до 4,5 м/с;

• Сорт Нерпёнок демонстрирует высокую устойчивость к механическим повреждениям. При повреждении кожуры на ¼ - ½ поверхности клубня наблюдается в среднем 0, 14 случаев на один клубень. Потемнения мякоти происходит в среднем в 0,11 случаях на один клубень;

• Стоимость уборки картофеля с помощью комбайна (*Grimme DR*-1500) по технологической карте составляет в среднем 1902,07 рубля за гектар. Это на 80 % превышает результаты испытаний на имитаторе, где средняя стоимость составляет 349,93 рубля.

Список литературы

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы – Режим доступа: https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/technical-program/.

2. Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» – Режим доступа: http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755.

3. Имитатор повреждаемости клубней картофеля / *А.В. Кузьмин, В.А. Беломестных, В.Д. Коваливнич* // Патент на изобретение 2797981 C1, 13.06.2023. заявитель и патентообладатель Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского – ФГБОУ – ВПО. Заявка № 2022112098 от 04.05.2022. EDN: LSAGJI.

4. Имитатор повреждаемости клубней [Текст]: пат. 2598883 Российская Федерация, МПК G01N 33/02. / *А.В. Кузьмин* [и др.]; заявитель и патентообладатель Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского – ФГБОУ – ВПО. - № 2014125786/15; МПК G01N 33/02, заявл. 25.006.2014; опубл.27.09.2016. - Бюл. № 27. – 5 с.

Сведения об авторах

Кузьмин Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса и ощеинженерных дисциплин инженерного факультета (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89503835361, e-mail: kuzmin_burgsha@mail.ru).

Коваливнич Виктория Дмитриевна – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО инженерного факультета (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89500902261, e-mail: kovaliv07@mail.ru).

Information about the authors

Kuzmin Alexander V. – doctor of technical sciences, professor of the department of technical service and general engineering disciplines, faculty of engineering (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 89503835361, e-mail: kuzmin_burgsha@mail.ru).

Kovalivnych Viktoriya D. – is a senior lecturer at the department of EMTP, belarusian railways and software engineering faculty (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, tel.: 89500902261, e-mail: kovaliv07@mail.ru).

УДК 629.13

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИЗЕЛЕЙ С ГОМОГЕННЫМ ЗАРЯДОМ КАК СПОСОБЕ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ВЫПУСКНЫХ ГАЗОВ

[1]В.Д.Коваливнич, [1]А.Р. Сухаева, [2]М.Б. Балданов

[1]ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия
[2]ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА имени В.Р. Филлппова
Улан-Удэ, Россия

Аннотация. С помощью автотракторной техники осуществляется значительная часть производственных процессов в современном сельском хозяйстве. Тракторы сельскохозяйственного назначения активно используются при составлении машинно-тракторных агрегатов для выполнения большого количества технологических операций, применяемых в агропромышленном комплексе. Кроме того, автомобили, используемые в аграрных работах, также осуществляют важные хозяйственные задачи. Совершенствование её и разработка инновационных моделей позволяет повысить эффективность функционирования агропромышленного комплекса страны. Важное место при решении этих задач занимают вопросы создания технических средств и технологий механизации работ на селе, представляющие собой приоритетное направление современных научных исследований. Не является исключением в этом плане ДВС поршневого типа как основной источник энергии транспортно-технологических машин и оборудования. Бурное развитие промышленности, в том числе аграрного сектора наносит критически большой урон атмосфере, флоре и фауне. В этой связи особую актуальность в настоящее время придаётся экологическим вопросам производства, существенно повышаются требования, предъявляемые к ним, одним из которых является работа силовых агрегатов, использующих в качестве топлива углеводородное горючее.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, автотракторная техника, совершенствование дизелей, токсичность выпускных газов.

IMPROVEMENT OF HOMOGENEOUS-CHARGE DIESEL ENGINES AS A WAY TO REDUCING EXHAUST GASES TOXICITY

[1]V.D. Kovalivnich, [1]A.R. Sukhaeva, [2]M.B. Baldanov

[1]FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia
[2]FSBEI HE V.R. Filippov Buryat state academy of agriculture
Ulan-Ude, Russia

Annotation. A significant portion of production processes in modern agriculture are carried out using motorized tractors. Agricultural tractors are actively used in the assembly of machine-tractor units to perform a wide range of technological operations in the agro-industrial complex. Furthermore, vehicles used in agricultural work also perform important economic functions. Improving this technology and developing innovative models allows for greater efficiency in the country's agro-industrial complex. The development of technical means and technologies for mechanizing agricultural work plays a key role in addressing these challenges, representing a priority area of modern scientific research. The piston-type internal combustion engine, as the primary power source for transport and technological machinery and equipment, is no exception. The rapid development of industry, including the agricultural sector, is critically damaging the atmosphere, flora, and fauna.

Therefore, environmental issues in production are currently of particular importance, with significantly higher demands placed on them, one of which is the operation of power units using hydrocarbon fuel.

Key words: agricultural production, automotive and tractor equipment, diesel engine improvement, exhaust gas toxicity.

С помощью автотракторной техники осуществляется значительная часть производственных процессов в сельском хозяйстве. Совершенствование её позволяет повысить эффективность функционирования аграрного сектора страны [4, 8, 11, 13]. Важное место при решении этих задач занимают вопросы создания технических средств и технологий механизации работ на селе, представляющие собой приоритетное направление современных научных исследований. Не является исключением в этом плане ДВС поршневого типа как основной источник энергии транспортно-технологических машин и оборудования, которые нашли самое большое распространение, в настоящее время, на мобильных машинах широкого профиля [1-3; 5-7; 9, 10, 12, 14].

Тракторы сельскохозяйственного назначения активно используются при составлении машинно-тракторных агрегатов для выполнения большого количества технологических операций, применяемых в агропромышленном комплексе. Кроме того, автомобили, используемые в аграрных работах, также осуществляют важные хозяйственные задачи.

Бурное развитие промышленности, в том числе аграрного сектора наносит критически большой урон атмосфере, флоре и фауне. В этой связи особую актуальность в настоящее время придаётся экологическим вопросам производства, существенно повышаются требования, предъявляемые к ним, одним из которых является работа силовых агрегатов, использующих в качестве топлива углеводородное горючее.

В соответствии с природой образования вредные вещества в выпускных газах поршневых двигателей внутреннего сгорания структурируются на две группы: угарный газ – CO, метидин – CH, сажа, оксиды азота – NO_X.

В случае, когда соотношение горючего и воздуха в смеси становится не оптимальной, происходит образование двуокиси углерода.

Некоторую проблемность в силовых агрегатах с качественным регулированием являет собой нейтрализация оксидов азота. Наряду с существующими способами для борьбы с этим явлением существует способ снижения токсичности выпускных газов путём совершенствования дизелей с гомогенным зарядом.

Проблемы воспламенения бедных горючих смесей сопровождают работу силовых агрегатов. Это связано с тем, что функционирование таких силовых агрегатов характеризуется цикличностью осуществляемого рабочего процесса. Процесс повышения температуры в зоне горения сопровождается расширением концентрационных границ воспламенения. Это происходит при достижении степени сжатия > 20, а также наблюдается сгорание товарных топлив до значения коэффициента избытка воздуха ($a \approx 2$).

Как видно из результатов исследований с гомогенным зарядом (*HCCI – Homogeneous Charge Compression Ignition*) имеет место быть существенному улучшению показателя по снижению токсичности.

Реализация функционирования мотора, работающего на углеводородном топливе, с использованием процесса сгорания обводнённых околостехиометрических горючих смесей позволяют решить данные проблемы. Применяемые способы впрыска воды, следующие:

- Первый – от горючего отдельно;
- Второй – непосредственно цилиндр силового агрегата ВТЭ (эмульсия водотопливная): смеси с горючим.

Использование первого варианта предполагает введение воды:

- В устройство впускного тракта мотора;
- В конструкцию цилиндра двигателя.

Применение интенсивного обводнения горючей смеси позволяет достичь существенных плюсов по подавлению эмиссии *NOx*.

Положительный эффект получается при использовании воды минимум равным количеству горючего, а лучше с превышением его.

Исходя из результатов осуществленного анализа следует. Реализация ВТЭ, в которых содержание воды не более 50 % степень обводнения не работает. бъяснение такого факта – нестабильность ВТЭ с высоким содержанием воды. По этой причине возникает необходимость интегрирования в состав ВТЭ большого числа эмульгаторов.

Устройства, предназначенные для хранения, а также осуществления подвода с последующим распыливанием воды позволяют выполнить метод впрыска во впускной коллектор.

Рассмотренный метод характеризуется простотой конструкции и высокой степенью надёжности. В этой связи метод впрыска воды в цилиндр более худший вариант.

Для выполнения распределения воды в необходимой степени по цилиндрам двигателя используются специальные форсунки. Размещаются они во впускных патрубках напротив каждого цилиндра.

В результате образования гомогенной смеси паров воды с воздушным зарядом в камере сгорания происходит снижение значения температуры конца сжатия и горения, что ведёт к увеличению периода задержки воспламенения в дизелях.

В следствие этих процессов происходит рост эмиссии продуктов неполного сгорания.

Снижение концентрации *NOx* на 70 % в отработанных газах достигается впрыском воды во впускной тракт мотора. При этом соотношение количества воды к количеству горючего находится в пределах от 1,25 до 1,5.

Кроме того, не наблюдается заметного увеличения эмиссии компонентов неполного окисления горючего. Также не наблюдается ухудшение мощностных и кроме того, экономических характеристик силового агрегата.

Не значительное уменьшение уровня эмиссии *NOx* объясняется последующим обводнением, однако вызывает изменение эффективных характеристик двигателя в сторону ухудшения, в том числе роста элементов неполного окисления горючего.

Не корректное воспламенение и смесеобразование формируют этот отрицательный факт. Отрицательный эффект недостаточной однородности распределения воды, а также горючего в камере сгорания присущ второму варианту.

Перечень негативных последствий, возникающих по причине неоднородности распределения воды, включая горючее по объёму камеры имеет место быть.

В результате не наблюдается эффект понижения эмиссии *NOx* в полной мере без исключения негативного влияния на рабочий процесс двигателя посредством осуществления впрыска воды во впускной трубопровод.

Выполненный анализ совершенствования дизелей с гомогенным зарядом как способе снижения токсичности выпускных газов позволил изучить состояние вопроса в этом спектре знаний, установить их положительные и отрицательные стороны каждого из них. Это создает основу для дальнейших перспективных изысканий в данном направлении исследовательских работ.

Список литературы

1. *Алтухов, С.В.* Исследование тепловых потоков в распылителе форсунки дизельного двигателя 4Ч 11/12,5 / *С.В. Алтухов, С.Н. Шуханов* // В сборнике: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса" посвященная памяти Александра Александровича Ежевского. 2018. - С. 242-248.

2. *Алтухов, С.В.* Особенности выпускной системы двигателя как основного источника энергии автотракторной техники и экология / *С.В. Алтухов, Т.А. Алтухова, А.Р. Сухаева* // В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Материалы XIV международной научно-практической конференции, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. Новосибирск, 2022. - С. 277-280.

3. *Алтухов, С.В.* Оптимальное значение температуры распылителей форсунок дизеля как фактор повышения эффективности его функционирования / *С.В. Алтухов, С.Н. Шуханов, Д.Н. Голубев* // В сборнике: Инженерные решения для АПК. Рязань, 2025. - С. 179-185.

4. *Болоев, П.А.* Обеспечение надежности ДВС резервированием элементов / *П.А. Болоев, М.К. Бураев, А.И. Аносова, Г.М. Бураева, С.Н. Шуханов* // Вестник НГИЭИ. - 2026. - № 4 (179). - С. 7-17.

5. *Глухих, В.Д.* К вопросу особенностей насоса охлаждающей жидкости двигателя внутреннего сгорания / *В.Д. Глухих, Г.М. Бураева, А.В. Косарева* // Научный журнал молодых ученых. - 2024. - № 4 (39). - С. 19-24.

6. *Коваливнич, В.Д.* О перспективах развития электронных систем впрыскивания топлива / *В.Д. Коваливнич, Т.В. Бодякина, А.Р. Сухаева* // В сборнике: Вызовы и инновационные решения в аграрной науке. Материалы XXIX Международной научно-производственной конференции. Майский, 2025. - С. 119-120.

7. *Коваливнич, В.Д.* Особенности и принцип функционирования насоса-форсунки на дизелях / *В.Д. Коваливнич* // В сборнике: Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона. Сборник научных тезисов студентов. п. Молодежный, 2025. - С. 214-215.

8. *Коваливнич, В.Д.* Особенности и анализ функционирования электрогидравлического усилителя рулевого управления транспортных средств / *А.В. Косарева, А.И. Аносова* // Научный журнал молодых ученых. 2025. № 4 (44). С. 46-50.

9. *Косарева, А.В.* К вопросу о системах питания инжекторных двигателей / *А.В. Косарева, А.И. Аносова, А.Р. Сухаева* // Научный журнал молодых ученых. - 2025. - № 5 (45). - С. 42-46.

10. *Хараев, Г.И.* Некоторые факторы снижения износа поршневых двигателей внутреннего сгорания / *Г.И. Хараев, А.И. Аносова* // Агротехника и энергообеспечение. - 2023. - № 1 (38). - С. 69-73.

11. Хитерхеева, Н.С. К вопросу основных функций моторного масла / *Н.С. Хитерхеева, С.В. Агафонов* // В сборнике: Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК. Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Энергетика. Иркутск, 2025. - С. 198-199.

12. *Шуханов, С.Н.* Частная методика экспериментальных исследований функционирования поршневого двигателя УЗАМ-331.10, использующего бензин и газообразное топливо / *С.Н. Шуханов, А.И. Аносова, О.Н. Хороших* // Известия Международной академии аграрного образования. - 2022. - № 58. - С. 54-57.

13. *Шуханов, С.Н.* Искусственный интеллект как способ совершенствования технических средств диагностики автотракторной техники / *С.Н. Шуханов, А.В. Кузьмин, С.В. Агафонов, А.Р. Сухаева* // В сборнике: Научно-технические приоритеты развития АПК России. материалы 76-й международной научно-практической конференции. Рязань, 2025. - С. 235-240.

14. *Ямпилов, С.С.* Корреляция продолжительности прогрева двигателя со значением температуры воздуха / *С.С. Ямпилов, В.П. Друзьянова, Г.Е. Кокиева, С.Н. Шуханов, О.Н. Хороших* // Наука в центральной России. - 2025. - № 1 (73). - С. 64-72.

Сведения об авторах

Коваливнич Виктория Дмитриевна – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО инженерного факультета (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89500902261, e-mail: kovaliv07@mail.ru).

Сухаева Анна Радионовна – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭМТП, БЖД и ПО (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел.: +79027674765, e-mail: suhaewa@yandex.ru).

Балданов Мунко Базарович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭАСХ, Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова (670024, Россия, р. Бурятия, г. Улан-Удэ, тел.: +79149818444, e-mail: munko.baldanov@mail.ru).

Information about the authors

Kovalivnych Viktoriya D. – is a senior lecturer at the department of EMTP, belarusian railways and software engineering faculty (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, tel.: 89500902261, e-mail: kovaliv07@mail.ru).

Sukhaeva Anna R. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of operation of machinery and equipment, occupational safety, and vocational training (Molodezhny settlement, Irkutsky district, Irkutsk region, 664038, Russia; tel.: +79027674765; e-mail: suhaewa@yandex.ru).

Baldanov Munko B. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of electrification and automation of agriculture, V.R. Filippov buryat state agricultural academy (670024, Russia, republic of Buryatia, Ulan-Ude; tel.: +79149818444; e-mail: munko.baldanov@mail.ru).

УДК 629.331-63

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НИЗКОЗАМЕРЗАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

Т.И. Кривцова, Р.П. Шубин

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет
Иркутск, Россия

***Аннотация*:** в статье приведён анализ состояния вопроса, цели и задачи исследования, приведена классификация низкозамерзающих охлаждающих жидкостей с анализом их характеристик, преимуществ и недостатков. Представлены результаты исследования по изменению физико-химических свойств охлаждающих жидкостей в зависимости от пробега автомобилей. Сделаны выводы по проведённым исследованиям.

***Ключевые слова*:** антифриз, низкотемпературная охлаждающая жидкость, охлаждающие свойства, состав антифриза, классификация, температура кипения, водородный показатель, температура кристаллизации, охлаждающие свойства.

DYNAMICS OF CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ANTIFREEZES DURING VEHICLE OPERATION

T.I. Krivtsova, R.P. Shubin

FSBEI HE Irkutsk national research technical university
Irkutsk, Russia

Annotation. The article provides an analysis of the current state of the issue, along with the goals and objectives of the research. A classification of low-freezing coolants is presented, including an analysis of their characteristics, advantages, and disadvantages. The paper demonstrates the research results on the changes in the physicochemical properties of coolants depending on the vehicle mileage. Relevant conclusions based on the conducted research are formulated.

***Key words**:* antifreeze, low-temperature coolant, cooling properties, antifreeze composition, classification, boiling point, pH value, crystallization temperature.

В современном мире низкотемпературная охлаждающая жидкость играет очень важную роль. Так как надёжная работа двигателя напрямую зависит от эффективности функционирования системы охлаждения. Современные автомобильные низкозамерзающие охлаждающие жидкости выполняют не только функцию защиты от перегрева, но и предотвращают коррозию металлических деталей, а также образование накипи и отложений. В процессе эксплуатации автомобиля антифриз подвергаются постоянным циклическим термическим, химическим и механическим нагрузкам. Это приводит к термической деструкции базовых компонентов, и истощению пакета присадок.

Актуальность данного исследования заключается в том, что изменение физико-химических показателей теплоносителя в процессе эксплуатации снижает свойства жидкости, что может стать причиной локального перегрева двигателя,

ускоренной коррозии радиатора и блоков цилиндров, и в конечном случае – выходу из строя самого двигателя. В связи с этим комплексное исследование динамики изменения ключевых параметров охлаждающих жидкостей в реальных условиях эксплуатации является актуальной научно – практической задачей, позволяющей оптимизировать сроки замены технической жидкости и предотвратить аварийные поломки автомобиля. За счёт контроля физико-химических свойств низкозамерзающих жидкостей от пробега автомобиля можно снизить эксплуатационные затраты на работу двигателя и системы охлаждения.

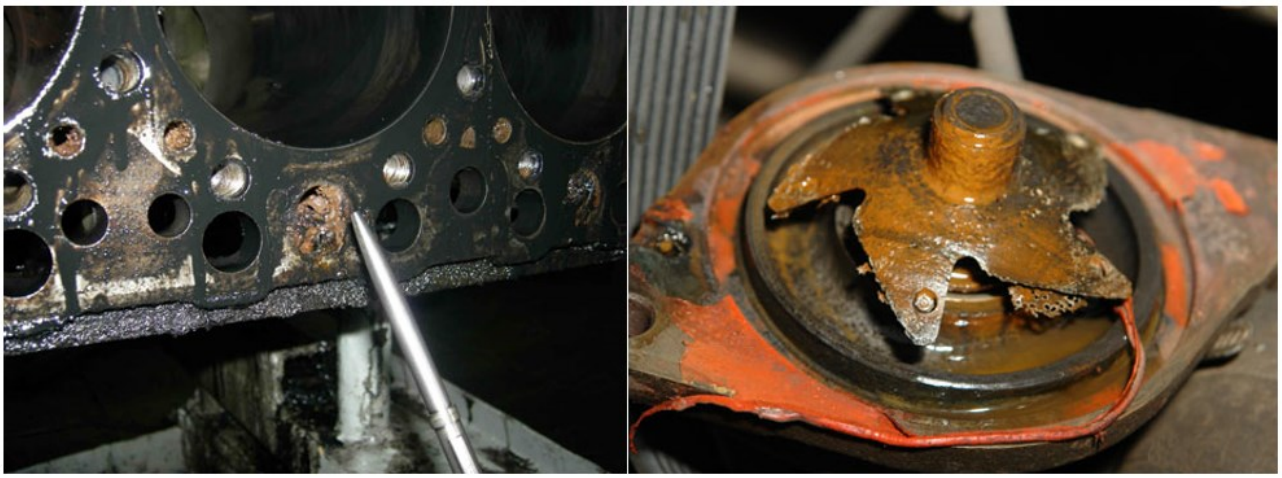


Рисунок 1 – **Состав антифриза**

В основе антифриза лежит этиленгликоль и дистиллированная вода. Гликоль обладает более высокой вязкостью и маслянистостью по сравнению с обычной водой, что образует плёнку. Для улучшения эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей, в антифриз добавляют присадки. Присадки могут иметь основу органическую и неорганическую.

Стандартизованной классификации антифризов не существует. В мировой практике принято использовать следующие обозначения охлаждающих жидкостей: *G*11, *G*12, *G*12+, *G*12++, *G*13, *G*12 *EVO*.

Антифриз класса *G*11 разработан для автомобилей отечественного и иностранного производства, сошедших с конвейера до 1996 года. Защиту от ржавчины в нём обеспечивают неорганические присадки и их смеси, включая силикаты, фосфаты, бораты, нитриты, амины и нитраты. Силикатные компоненты создают сплошной защитный слой на всех внутренних поверхностях охлаждающей системы, предотвращая её разрушение. Однако это покрытие заметно ухудшает теплоотдачу. Из-за постоянных вибраций защитный слой постепенно осыпается, поэтому жидкость советуют обновлять каждый год, а её предельный срок службы составляет 3 года. Если запустить замену *G*11, каналы охлаждения забьются осадком, что спровоцирует перегрев мотора и может сломать крыльчатку водяного насоса.



а) Блокировка каналов двигателя осадками; б) Повреждённая крыльчатка помпы.

Рисунок 2 – **Типичные неисправности системы охлаждения по причине некачественной охлаждающей жидкости**

Главной особенностью антифриза класса *G*12 является его карбоксилатный состав, который эффективно блокирует развитие коррозии на внутренних поверхностях элементов системы охлаждения. В формуле этой жидкости полностью отсутствуют такие компоненты, как нитриты, силикаты и фосфаты.

*G*12+. Антифризы такой классификации имеют более совершенный карбоксилатный состав на основе этиленгликоля.

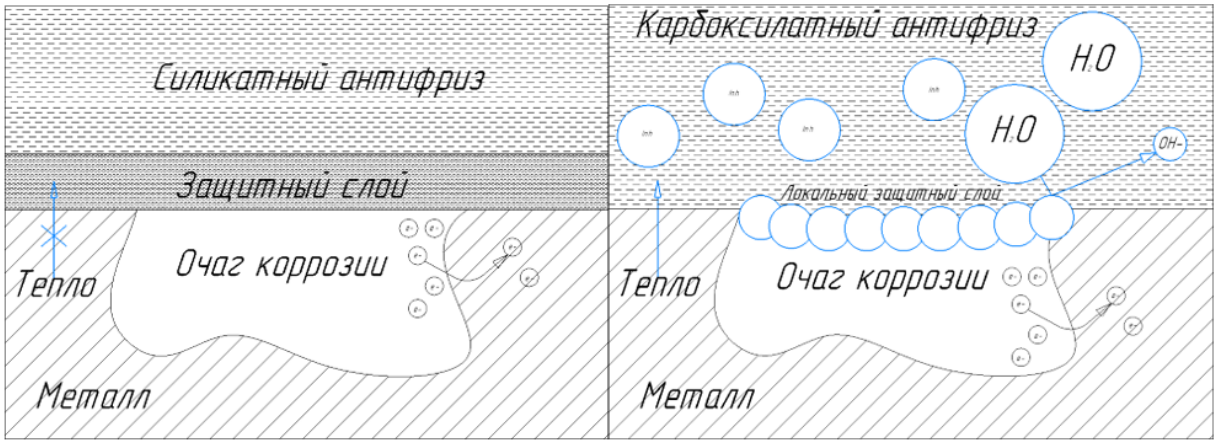


Рисунок 3 – **Схема защиты металла от коррозий антифризов *G*11 и *G*12**

*G*12++. Новейший карбоксилатный антифриз, который помимо органических присадок содержит силикатные компоненты. Иногда такой состав называют гибридным.

Такие антифризы не образуют защитного слоя по всей поверхности охлаждающей системы как антифриз серии *G*11, а начинают работать лишь в местах появления коррозии.

Главная особенность антифриза класса *G*13 по сравнению с *G*12 заключается в его основе – вместо токсичного этиленгликоля здесь используется более экологичный пропиленгликоль с добавлением глицерина.

Механизм старения охлаждающей жидкости – это процесс, при котором основные свойства этиленгликоля теряются. При этом истощается не только основа, но и пакет присадок.

Процессы старения можно разделить на два направления, которые влияют друг на друга: термоокислительная деструкция основы и срабатывание и старение пакета ингибиторов коррозии.

Термоокислительная деструкция основы. Моноэтиленгликоль под воздействием высоких температур и растворённого кислорода окисляется.

Продуктами старения моноэтиленгликоля являются органические кислоты: гликолевая, муравьиная и другие. Накопление этих кислот приводит к снижению *ph* и уменьшает резервную щёлочность (способность жидкости нейтрализовать кислоты). Падение *ph* ниже 7 делает жидкость агрессивной по отношению к металлу, в особенности к чугуну, лишая его защитного слоя.

Срабатывание и старение пакета присадок. Ингибиторы расходуются на защиту металлических поверхностей и сами подвержены старению. Концентрация в процессе эксплуатации неорганических ингибиторов (силикатов, фосфатов, боратов) сильно падает. Такие антифризы склонны к образованию гелей и осадков, особенно в присутствии катионов жёсткости (кальция, магния). Органические ингибиторы более стабильны, но их уровень медленно снижается. Продукты коррозии (ионы железа, алюминия, меди) накапливаются в растворе, что является прямым индикатором старения и потери защитных свойств.

Важно отметить, что динамика старения не является универсальной, на неё влияет, и материал, из которого состоит двигатель, и сочетание разных металлов, которые создают гальванические пары, ускоряющие коррозию.

Температурные режимы и цикличность. Постоянная езда с высокой нагрузкой или частые циклы, когда двигатель нагревается и охлаждается, по-разному влияют на скорость окисления и осаждения присадок.

Большинство стандартных лабораторных тестов являются статическими или оценивают жидкость по одному параметру. Например, падение *ph* из-за окисления гликоля, который ускоряет коррозию, а продукты коррозии катализируют дальнейшее окисление гликоля. Происходит замкнутый круг.

Для корректного исследования изменения физико-химических свойств охлаждающих жидкостей мы собрали образцы новых и работающих антифризов с определённой периодичностью по пробегу. Было принято решение исследовать изменение параметров ОЖ с трех автомобилей.

• *Toyota Sienta* с объёмом двигателя 1,5 литра. С общим пробегом 235971 тысяч километров.

• *Infiniti FX*35 с объёмом двигателя 3,5 литра и общим пробегом 450 тысяч километров.

• *Mitsubishi Pajero* с объёмом двигателя 3,2 литра и общим пробегом 323982 километров.

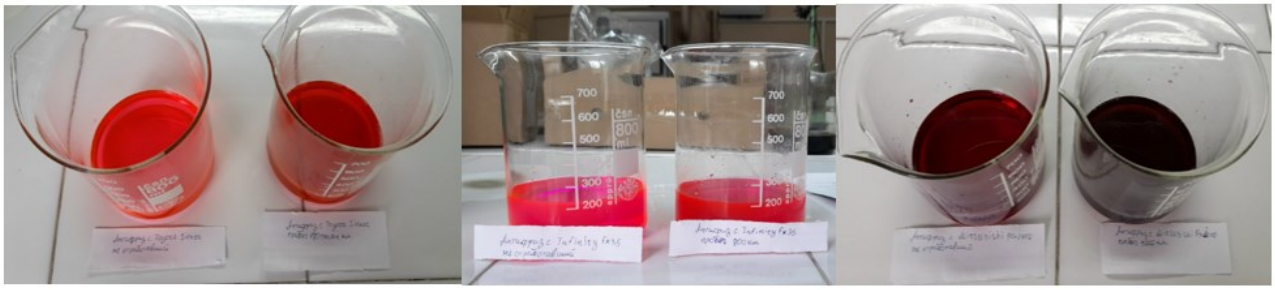


Рисунок 4 – **Образцы антифриза с автомобилей и разными пробегами**

Используемые антифризы в этих автомобилях с разными пробегами были зашифрованы и занесены в таблицу 1. А1 *Toyota Sienta* 2011 года выпуска с общим пробегом 235971 километров используется антифриз *SINTEC ULTRA G*11. А2 *Infiniti FX*35 2008 года выпуска с общим пробегом 450 тысяч километров используется антифриз *Felix G*12+. А3 *Mitsubishi Pajero* 2008 года выпуска с общим пробегом 323 982 километров – *Totachi G*12++.

Таблица 1 – **Собранные образцы антифризов по пробегам**

Автомобиль	**Пробег**						
	Новое	**800 км**	**2500 км**	**5000 км**	**8000 км**	**150000 км**	**180000 км**
Toyota Sienta	А1Н					А1-15000	А1-180000
*Infinity FX*35	А2Н	А-800	А2-2500				
Mitsubishi Pajero	А3Н			А3-5000	А3-8000		

Методика экспериментов. В данном исследовании были проведены замеры по таким параметрам как, вязкость, плотность, водородный показатель, начальная температура кипения, температура кристаллизации.

Для измерения этих показателей были взяты инструменты: *pH*-метр, вискозиметр, ареометр, рефрактометр, термометр, нагревательный элемент.

pH метр *pH*-150*M*. Предназначен для измерения активности ионов водорода, окислительно – восстановительных потенциалов и температуры водных растворов. Измерение этих показателей осуществляется в цифровой форме с помощью измерительного преобразователя и набора электродов.

Он является портативным прибором с сетевым автономным питанием и может быть применён в лабораториях и научно-исследовательских учреждениях различных отраслей промышленности, а также охраны окружающей природной среды.

Вискозиметр. Капиллярный стеклянный вискозиметр типа ВПЖ-2 с диаметром капилляра 0,73 мм имеющим постоянную 0,03499 мм^2/с. Предназначен для определения кинематической вязкости прозрачных жидкостей.

Набор ареометров. Предназначены для измерения плотности различных жидкостей в диапазоне от 700 до 1840 кг/м^3.

Рефрактометр. Предназначен для измерения температуры замерзания технической жидкости. Работает по принципу измерения коэффициента преломления света при прохождении света через каплю технической жидкости на линзе.

Результаты экспериментальных исследований. В результате обработки экспериментальных данных получили следующие графики.

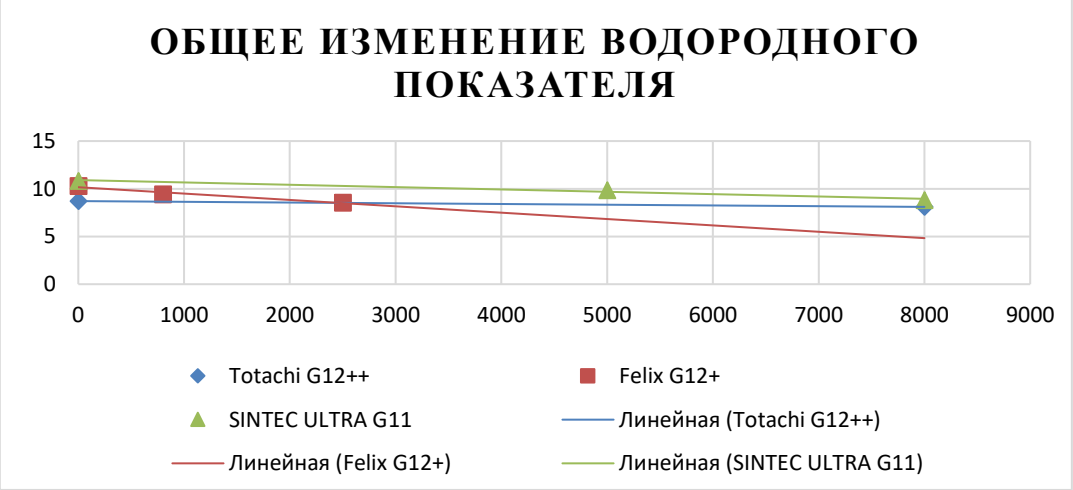


Рисунок 5 – **График изменения водородного показателя трёх антифризов**

Из графиков видно, что антифриз *Sintec Ultra G*11 и *Totachi G*12++ не превышают нормативных значений по всем показателям – водородный показатель, изменение вязкости, плотности, температуры кристаллизации и температуры кипения. После 8 тысяч километров показатели этих антифризов изменяются менее, чем на 20 процентов, что считается нормой, а у образца *Felix G*12+ значительно изменяются все показатели, что говорит о сильной деградации присадок.

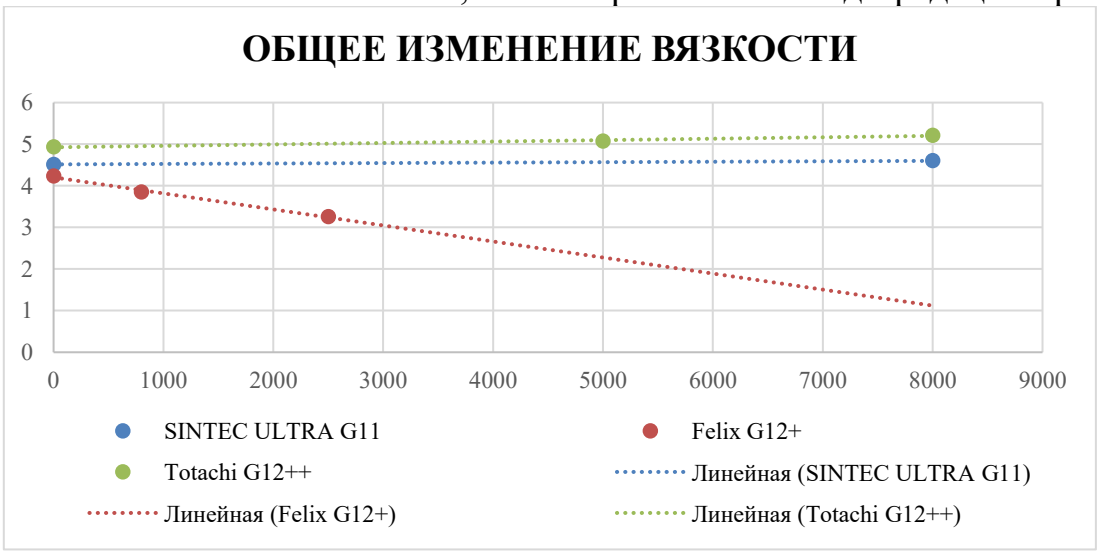


Рисунок 6 – **График изменения вязкости трёх антифризов**

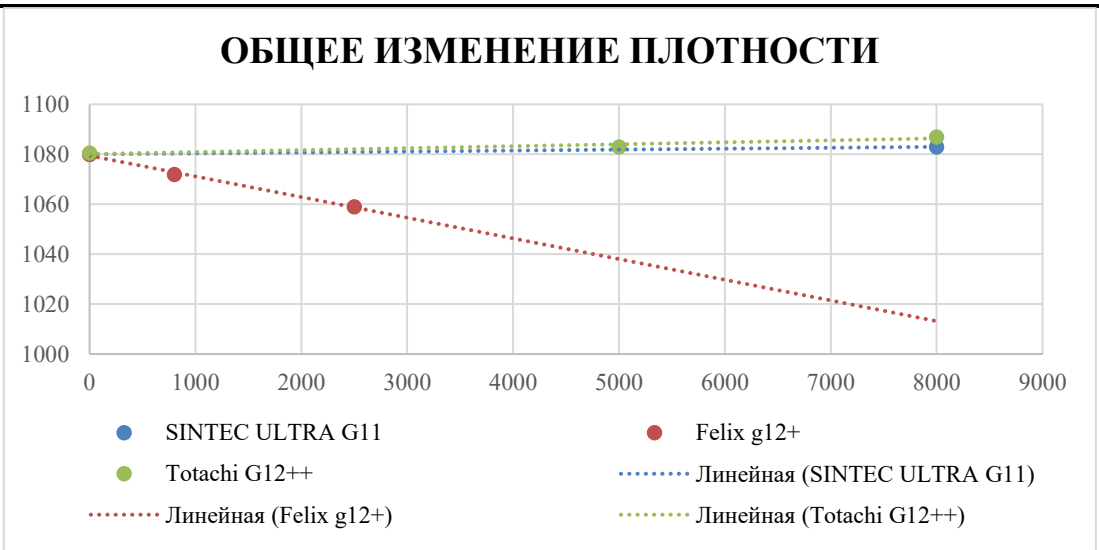


Рисунок 7 – **График общего изменения плотности трёх антифризов**

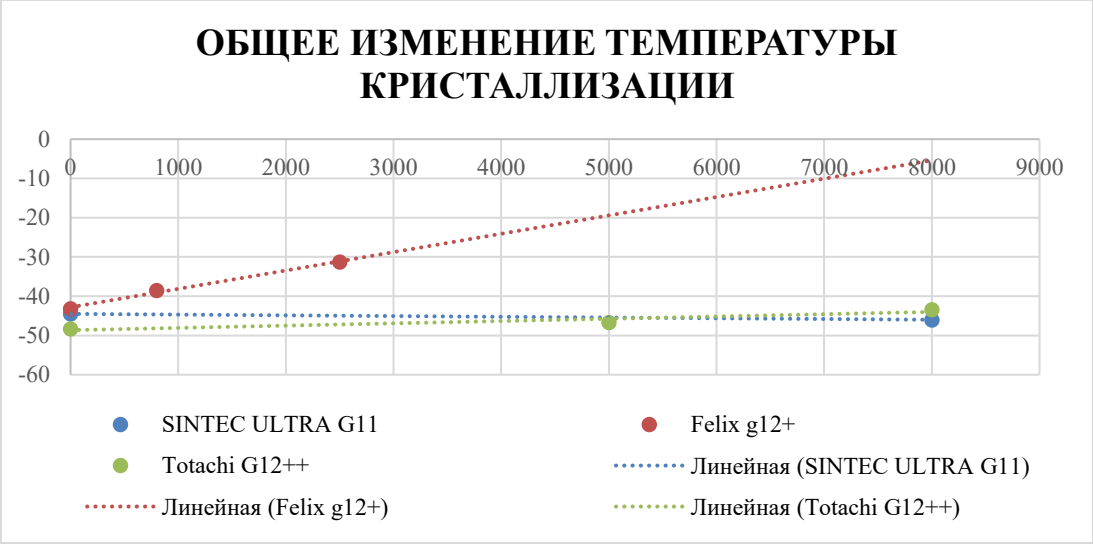


Рисунок 8 – **График общего изменения температуры кристаллизации трёх антифризов**

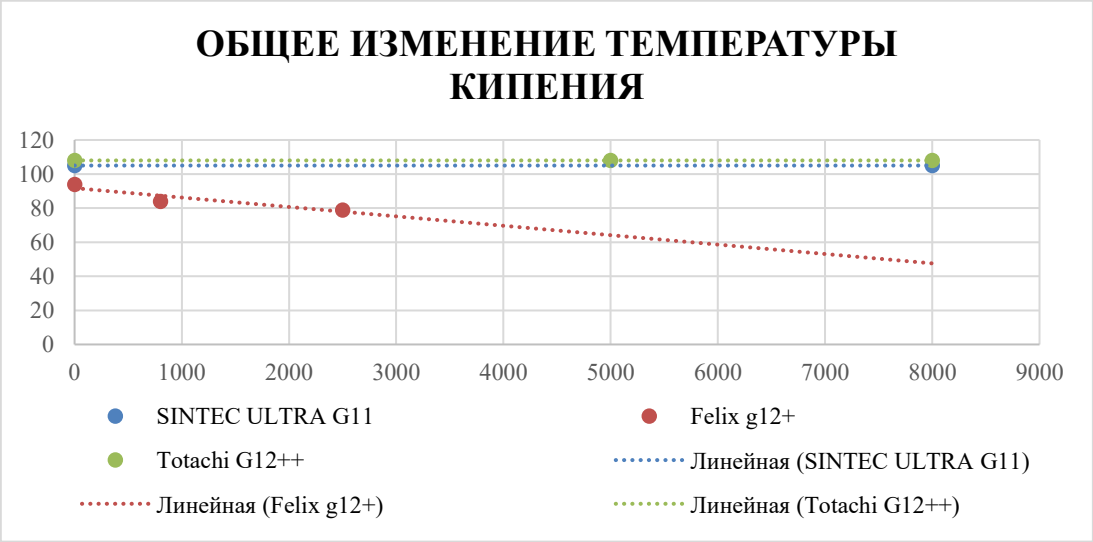


Рисунок 9 – **График общего изменения температуры кипения трёх антифризов**

Для каждого антифриза критический пробег является разным. Для силикатных типов он является 40000-60000, для антифризов карбоксилатного типа этот пробег будет от 100000 до 150000. Стоит учитывать двигатель и его систему охлаждения автомобиля и использовать тот антифриз, который рекомендует завод-изготовитель. Если не следовать этой рекомендации присадки в антифризе будут очень стремительно деградировать, что может привести в крайнем случае к выходу из строя двигателя.

Наиболее достоверным является лабораторные исследования. Проще всего осуществить периодическое значение показателей, таких как щёлочное число и температура кристаллизации в динамике, поскольку они не требуют дополнительного оборудования и методики их измерения достаточно просты. Щёлочное число можно измерять экспресс-методом: лакмусовыми полосками, а температуру кристаллизации рефрактометром. И при снижении этих показателей более чем на 20 % говорит о том, что используемый антифриз низкого качества и от этого бренда клиенту стоит отказаться. Используя в практике автомобильного сервиса данный приём диагностики состояния антифриза в динамике, можно снизить эксплуатационные затраты на работу двигателя и системы охлаждения.

Список литературы

1. Analysis of antifreeze properties before and after their operation in engine [Анализ свойств антифриза до и после его эксплуатации в двигателе] / *O. Telkov, A. Kosmacheva, A. Khodyakov* [et al.] // RUDN Journal of Engineering Researches. – 2021. – Vol. 22, no. 3. – P. 277-284. – URL.

2. Ethylene glycol-based coolant technologies for automotive applications: a critical review [Технологии охлаждающих жидкостей на основе этиленгликоля для автомобильного транспорта: критический обзор] / *R. Singh, S. Kumar, P. Sharma* // International Journal of Chemical and Synthesis Innovations. – 2024. – Vol. 9, no. 2. – P. 112-126. – URL

3. The effect of adding coolant to engine oil on its dynamic viscosity [Эффект попадания охлаждающей жидкости в моторное масло и его влияние на динамическую вязкость] / *M. Malinowski, A. Janicka, J. Myśliwiec* [et al.] // Energies. – 2026. – Vol. 19, no. 10. – P. 2365. – URL.

4. Анализ свойств антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания / *О.И. Телков, А.Д. Космачева, А.А. Ходяков* [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – Т. 22, № 3. – С. 277-284. – URL: RUDN Journals.

5. Диагностика химической активности антифриза / А.*А. Ходяков* // Инновации в автосервисе и транспортных системах : материалы Международной научно-практической конференции. – Москва : РУДН, 2020. – URL: КиберЛенинка.

6. Изучение физических свойств антифризов / *А.Н. Кувшинов, О.А. Кувшинова, Д.С. Шаляева, В.С. Кувшинов* // Наука и образование в XXI веке : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – Тамбов : Юком, 2018. – URL: КиберЛенинка.

7. Исследование изменения удельной электропроводности охлаждающих жидкостей при термической деградации / *М. Наглюк* // Экология и автомобильный транспорт : материалы XI Международной конференции «ЭКО ВАРНА». – Варна, 2024. – URL: EcoVarna.

8. Исследование физических свойств антифризов в ходе эксплуатации / *И.А. Кирпиков, П.В. Матвеев, Д.А. Соколов* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2023. – № 6. – URL: ResearchGate.

9. *Копылова, М.Ю.* Исследование физико-химических свойств моторного масла при попадании в него топлива / *М.Ю. Копылова, М.И. Напортович, В.Э. Морозов* // Молодой ученый. – 2026. – № 10 (613). – С. 45-50. – EDN QMFZZF.

10. *Кочнев, Г.А.* Низкотемпературные свойства автомобильных стеклоомывающих жидкостей / *Г.А. Кочнев, Р. Ф. Плынский, Р.П. Шубин* // Молодой ученый. – 2025. – № 15 (566). – С. 23-25. – EDN GJCXTD.

11. *Кривцов, С.Н.* Низкотемпературные свойства топливных смесей на основе биодизеля, полученного из отработанного фритюрного масла / *С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова, Н.И. Ковалева* // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 2. – С. 91-98. – DOI 10.17816/0321-4443-171148. – EDN JDESAS.

12. Эксплуатационные свойства отработавшего моторного масла автотранспортных средств при замене его по фиксированному регламенту / *Г.В. Павлюков, С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова* [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2026. – № 4(166). – DOI 10.60797/IRJ.2026.166.80. – EDN NPRIES.

Сведения об авторах

Кривцова Татьяна Игоревна – к.т.н., доцент, доцент кафедры Автомобильный транспорт, строительные и дорожные машины, ИРНИТУ (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), тел.: 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru.

Шубин Роман Павлович – магистрант группы ТЭАм-26, кафедры Автомобильный транспорт, строительные и дорожные машины, ИРНИТУ (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), тел.: 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru.

Information about the authors

Krivtsova Tatyana I. – candidate of technical sciences, associate professor, department of automotive transport, construction and road machinery, INRTU (83 Lermontova st., Irkutsk, 664074), tel.: 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru.

Shubin Roman P. – master's student (Group TEAm-26), department of automotive transport, construction and road machinery, INRTU (83 Lermontova st., Irkutsk, 664074), tel.: 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru.

УДК 631.354.02

ОБЗОР РЕЖУЩИХ АППАРАТОВ ЖАТКИ ДЛЯ ПРЯМОГО КОМБАЙНИРОВАНИЯ

И.А. Лонцева, Д.М. Курдюмова

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет
Благовещенск, Россия

Аннотация. В статье представлен обзор режущих аппаратов жаток, применяемых при прямом комбайнировании зерновых культур. Рассмотрены классификация, конструктивные особенности и принцип действия сегментно-пальцевых и беспальцевых аппаратов. Приведён сравнительный анализ их технических характеристик: области применения, качества среза, энергозатрат и сложности обслуживания. Описаны основные параметры режущих аппаратов – шаг сегментов, шаг пальцев и ход ножа, а также типы аппаратов по соотношению этих параметров. Отмечены особенности насечки сегментов и её влияние на качество среза. Сделаны

выводы о перспективности применения сегментно-пальцевых аппаратов на жатках для прямого комбайнирования.

Ключевые слова: прямое комбайнирование, жатка, режущий аппарат, сегментно-пальцевый аппарат.

REVIEW OF CUTTING UNITS OF HEADERS FOR DIRECT COMBINING

I.A. Lontseva, D.M. Kurdyumova

FSBEI HE Far eastern state agrarian university
Blagoveshchensk, Russia

Annotation. The article provides a review of cutting units of headers used in direct combining of grain crops. The classification, design features and operating principle of segment-finger and fingerless units are considered. A comparative analysis of their technical characteristics is given: field of application, cutting quality, energy consumption and maintenance complexity. The main parameters of cutting units – segment pitch, finger pitch and knife stroke – are described, as well as the types of units based on the ratio of these parameters. The features of segment serration and its influence on cutting quality are noted. Conclusions are drawn about the prospects of using segment-finger units on headers for direct combining.

Key words: direct combining, header, cutting mechanism, reciprocating knife-and-guard assembly.

В сельском хозяйстве при возделывании зерновых культур уборка урожая является завершающим и ответственным этапом.

Прямое комбайнирование – это один из способов уборки урожая, его работа заключается в том, что зерноуборочный комбайн выполняет все операции за один проход, то есть производит скашивание стеблей, обмолот скошенного урожая, разделение его на зерно, солому, очистку зерна и загрузку его в бункер. При этом солому укладывают на поле в копны или измельчается, или разбрасывается. Качество работы жатки влияет на потери зерна, производительность комбайна и прибыль организации.

Наиболее важным органом жатки является режущий аппарат, который предназначен для срезки стеблей на заданной высоте. От его работоспособности и правильной настройки зависит чистота среза, потери зерна. Поэтому обзор существующих конструкций режущих аппаратов и их регулировок поможет определить перспективный выбор совершенствования аппаратов.

Цель работы – анализ конструкций режущих аппаратов жаток прямого комбайнирования, которые применяются в зерноуборочных комбайнах.

Режущие аппараты жаток разделяют по признакам (рисунок 1).

Сегментно-пальцевый режущий аппарат состоит из состоит из пальцевого бруса, ножа, прижимов, пластин трения и механизма привода (рисунок 2).

Пальцевый брус – это металлическая пластина, на которой закреплены пальцы режущего аппарата (рисунок 2). Пальцы могут иметь противорежущие пластины с насечками, но наряду с этим в современных режущих аппаратах противорежущие платины устанавливают отдельно.

Нож включает в себя спинку и зафиксированные на ней сегменты с насечкой. В процессе работы нож совершает возвратно-поступательное движение.

Прижимы монтируются с определённым шагом – через каждые два пальца – и выполняют функцию фиксации ножа в пазах, а также обеспечивают требуемую величину зазора.

Прижим устанавливаются через каждую пару пальцев и удерживают нож в пазах, обеспечивая необходимый зазор.

Пластины трения нужны для регулирования зазоров и уменьшения трения.

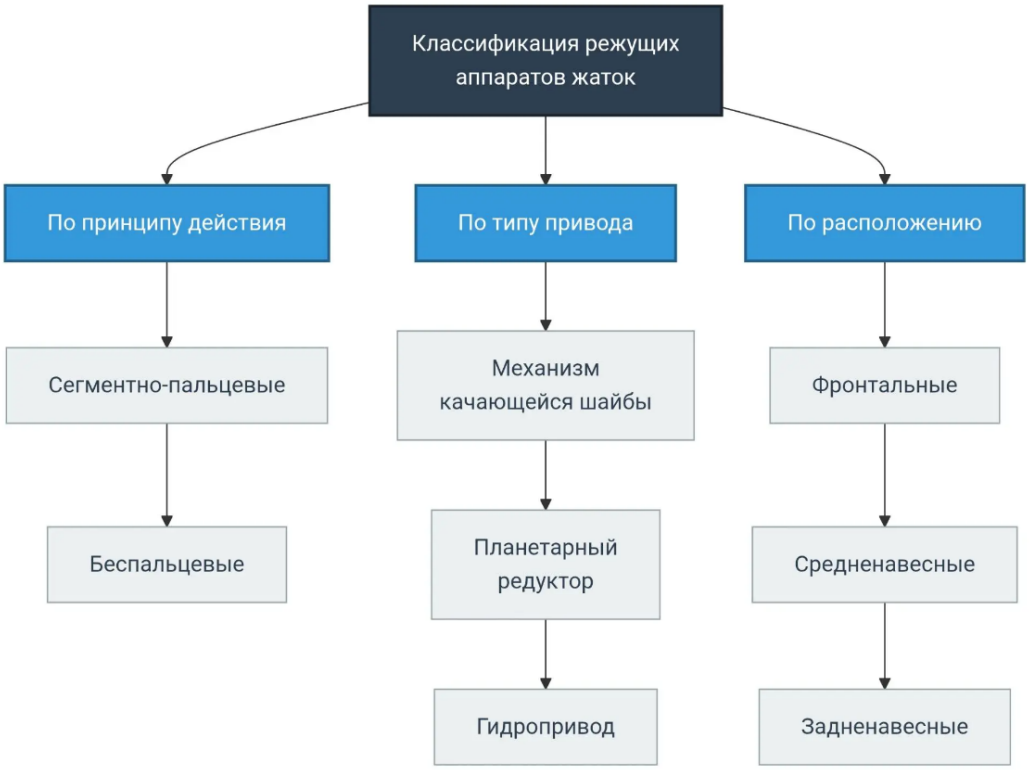
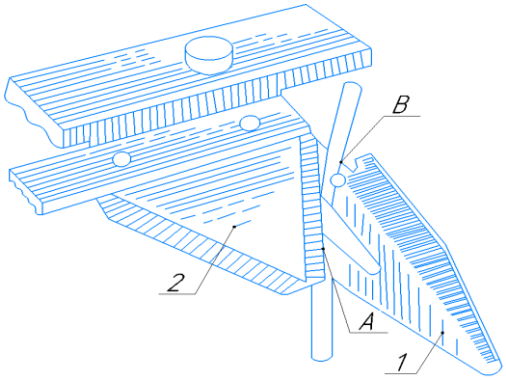


Рисунок 1 – **Классификация режущих аппаратов**

Механизм привода – механизм качающейся шайбы, преобразующий вращательное движение в возвратно-поступательное движение ножа.

Принцип действия состоят в том, что стебли, проводимые мотовилом, попадают в пространство между пальцами, движущие сегменты ножа срезают их по принципу ножниц, так как вкладыши пальцев служат второй режущей кромкой.



1 – Палец, 2 – Сегмент.

Рисунок 2 – **Сегментно-пальцевый режущий аппарат**

В конструкции сегментно-пальцевого аппарата функцию режущей пары выполняют сегмент 2 (рисунок 2) и противорежущая пластина пальца 1. Стебель растения подводится сегментом к пластине, зажимается в зазоре между этими элементами и отрезается. В момент среза стебель опирается сразу на две поверхности – на противорежущую пластину (точка *A*) и на перовидный отросток пальца (точка *B*). Наличие двух опор снижает вероятность изгиба стебля, что повышает надёжность процесса среза особенно при уборке тонких и влажных стеблей [Ряднов].

Беспальцевый аппарат (рисунок 3) отличается от сегментно-пальцевого конструкцией противорежущего элемента. Вместо пальцев с вкладышами применяются неподвижные сегменты или узкие пальцы без отростка с открытой противорежущей пластиной. Может иметь два подвижных ножа, при этом стебель защемляется между движущимися навстречу друг другу сегментами.

Такой аппарат находит применение при уборке спутанных и полеглых растений, поскольку он меньше забивается и даёт качественный срез.

Современные сегменты имеют насечки, что в процессе их эксплуатации не требует заточки, в отличие от режущих элементов с гладкой режущей кромкой.

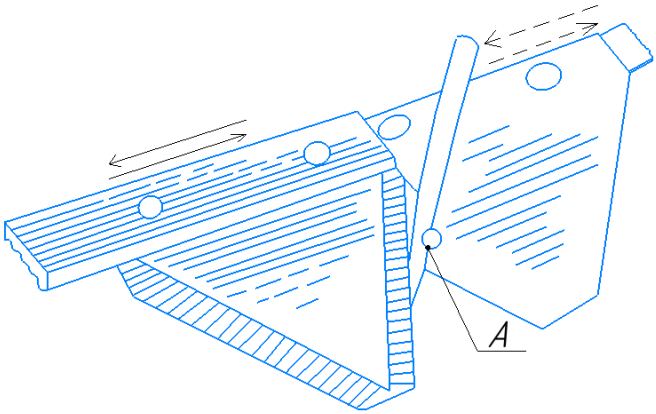


Рисунок 3 – **Беспальцевый режущий аппарат**

Проведя сравнительный анализ режущих аппаратов (таблица 1), установили, что сегментно-пальцевый режущий аппарат имеет широкую область применения и обеспечивает качественную резку стеблей при правильной регулировке, но требует настройку и склонен к забиванию при влажной массе.

Беспальцевый аппарат эффективен при полеглых и спутанных хлебах, но имеет ограничение в применении и средние энергозатраты.

Таблица 1 – **Сравнительная характеристика режущих аппаратов**

Параметры	**Сегментно-пальцевый**	**Беспальцевый**
1	**2**	**3**
Область применения	Зерновые, зернобобовые	Спутанные, полеглые хлеба
Принцип среза	Ножницы	Ножницы (два подвижных ножа)
Скорость работы	До 10-12 км/ч	До 10 км/ч
Качество среза	Высокое при правильной регулировке	Высокое на полеглых

Окончание таблицы 1

1	2	3
Энергозатраты	Низкие	Средние
Сложность обслуживания	Средняя	Средняя
Забивание	Возможно, при влажной массе	Низкие
Наличие регулировок	Много	Среднее

Сегментно-пальцевый режущий аппарат получил наибольшее распространение на жатках для прямого комбайнирования, установленных на наклонную камеру зерноуборочного комбайна.

Сегментно-пальцевые режущие аппараты показывают хорошее качество при работе комбайна на скорости от 1,5 до 3 м/с. Они не измельчают растения и более экономичны в сравнении с беспальцевым брусом. Ножи совершают возвратно-поступательное движение, за счёт этого появляются переменные нагрузки, при этом они не позволяют работать на больших скоростях.

На рисунке 4 представлены сегментно-пальцевые режущие аппараты жаток зерноуборочных комбайнов.



а) б)

а) Режущая кромка сегмента направлена вверх, б) Попеременное размещение режущей кромки сегментов.

Рисунок 4 – **Сегментно-пальцевый режущий аппараты**

Сравнение двух конструктивных схем режущего аппарата показывает, что аппарат с режущей кромкой, направленной вверх (рисунок 4, а) целесообразно применять при уборке культур с прямостоячим стеблестоем и умеренной влажностью.

Аппарат с переменным размещением сегментов (рисунок 4, б) обеспечивает более надёжную фиксацию стебля за счёт насечек, размещённых с двух сторон. Этот режущий аппарат целесообразно использовать на полеглых, плетущихся и кустистых растениях, что снижает риск проскальзывания стеблей.

К параметрам, определяющим работу сегментно-пальцевого режущего аппарата, относятся шаг режущей части t, шаг противорежущей части t_o и ход ножа S.

В жатках, оснащённых приводом МКШ (механизм качающейся шайбы) используются сегментно-пальцевые режущие аппараты с некратным ходом ножа $nt = nto = S = 88$ мм, либо режущим аппаратом «Системы Шумахера» также

нормального резания с некратным ходом ножа $nt = nto = S = 84$ мм с планетарным механизмом привода ножа (коэффициенты некратности $n = 88/76{,}2 = 1{,}155$ и $n = 84/76{,}2 = 1{,}1$).

Выбор конкретного соотношения определяется типом убираемой культуры, состоянием стеблестоя и требуемым качеством среза. Так, для прямостоящих зерновых культур предпочтителен аппарат нормального резания с одинарным пробегом, обеспечивающий надёжный срез при умеренных энергозатратах. Для полёглых и спутанных растений чаще применяют аппараты с увеличенным ходом ножа или беспальцевые конструкции, где условия защемления стебля отличаются.

Помимо перечисленных, к важным характеристикам режущего аппарата относятся угол заточки сегментов (около 19° для гладких кромок), шаг насечки (1-1,2 мм для сегментов жаток и 0,2-0,3 мм для ножей косилок) и величина зазора между сегментом и противорежущей пластиной, которая регулируется прижимами и пластинами трения. Эти параметры напрямую влияют на качество среза, энергозатраты и долговечность аппарата.

Сравнительный анализ показал, что сегментно-пальцевый обеспечивает качественный срез стеблей, однако требует настройки и склонен к забиванию при уборке влажной массы. Беспальцевый аппарат эффективен на полеглых и спутанных хлебах, меньше забивается, но имеет ограниченную область применения. Таким образом, выбор типа аппарата определяется конкретными условиями уборки.

Список литературы

1. Применение отработавших газов для снижения влажности зерна во время уборки / *А.А. Крючков, И.А. Лонцева, А.А. Кислов* [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – 2023. – Т. 17, № 3. – С. 88-96. – DOI 10.22450/19996837-2023-3-88. – EDN DDVYIF.

2. *Авдеев, А.А.* Анализ сельскохозяйственных косилок / *А.А. Авдеев, А.Л. Хохлов* // Нанотехнологии: наука и производство. – 2022. – № 3. – С. 24-28. – EDN LVVYUZ.

3. *Чаплыгин, М.Е.* Повышение эффективности и качества работы режущего аппарата селекционного комбайна / *М.Е. Чаплыгин, А.С. Овчаренко, А.Б. Бабаев* // Техника и оборудование для села. – 2026. – № 5(347). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2026-5-2-7. – EDN AEHPUP.

4. *Ряднов, А.И.* Совершенствование конструкции режущего аппарата жатки / *А.И. Ряднов, Р.В. Шарипов, В.А. Бариль* // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 226-239. – DOI 10.31774/2222-1816-2021-11-1-226-239. – EDN KZTVVZ.

5. Сегментно-пальцевая косилка для скашивания естественных и сеяных трав в условиях малых форм хозяйствования / *В.Ф. Первушин, Ф.М. Абдуллин, М.З. Салимзянов* [и др.] // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 16-21. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-16-21. – EDN NBOKLE.

6. *Труфляк, Е.В.* Параметры и режимы работы срезающе-измельчающего аппарата / *Е.В. Труфляк, А.Н. Потебня* // Инженерные технологии и системы. – 2023. – Т. 33, № 4. – С. 524-541. – DOI 10.15507/2658-4123.033.202304.524-541. – EDN FDRRLE.

7. *Бумбар, И.В.* Исследование производительности зерноуборочных комбайнов на уборке сои с различной шириной захвата жатки / *И.В. Бумбар, Д.С. Соколов* // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : Материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 85-летию доктора биологических наук, профессора, заслуженного работника Высшей школы РФ, Почетного работника высшего

профессионального образования РФ Петра Петровича Бердникова. В 2-х томах, Благовещенск, 15–16 апреля 2026 года. Том 1. – Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2026. – С. 183-187. – DOI 10.22450/978-5-9642-0646-0-183-187. – EDN MQOEPA.

8. *Бумбар, И.В.* Теоретическое обоснование скорости зерноуборочных комбайнов на уборке зерновых, сои и кукурузы в условиях АПК Амурской области / *И.В. Бумбар, А.А. Кувшинов, В.В. Мазур* // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию Дальневосточного государственного аграрного университета. В 3 т., Благовещенск, 16-17 апреля 2025 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. – С. 260-266. – DOI 10.22450/978-5-9642-0480-0-260-266. – EDN KUJEDF.

9. Выбор конструктивно-режимных параметров аксиально-роторной молотильно-сепарирующей системы зерноуборочного комбайна / *И.А. Лонцева, И.В. Бумбар, В.А. Мунгалов, В.А. Сенников* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2026. – № 3 (257). – С. 60-67. – DOI 10.53083/1996-4277-2026-257-3-60-67. – EDN MYRWCU.

10. *Лонцева, И.А.* Особенности конструкции и эксплуатации современных зерноуборочных комбайнов производства КНР в условиях Амурской области / *И.А. Лонцева, В.А. Мунгалов, В.А. Сенников* // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции приуроченной к 90-летию В. Н. Полецкова, Кемерово, 03-04 декабря 2025 года. Часть 2. – Кемерово : Кузбасский ГАУ, 2025. – С. 196-200. – EDN EBBNXI.

11. Результаты сравнительной оценки зерноуборочных комбайнов Т-500 и Acros 595 Plus на уборке сои / *А.В. Липкань, В.А. Сахаров, А.А. Кувшинов* [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – 2026. – Т. 20, № 1. – С. 64-76. – DOI 10.22450/1999-6837-2026-20-1-64-76. – EDN VZOERV.

Сведения об авторах

Лонцева Ирина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-энергетические средства и механизация АПК». Дальневосточный государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая д. 86, тел.: 8(4162)995144, e-mail: largoil@mail.ru).

Курдюмова Дарья – студент магистратуры направления подготовки Агроинженерия, кафедры «Транспортно-энергетические средства и механизация АПК». Дальневосточный государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая д. 86, e-mail dara.kur111@mail.ru).

Information about authors

Lontseva Irina A. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of transport and power machinery and mechanization of the agro-industrial complex, Far Eastern state agrarian university (86 Politekhnicheskaya st., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russia; tel.: +7(4162)995144; e-mail: largoil@mail.ru).

Kurdyumova Darya M. – master's student specializing in agro-engineering, department of transport and power machinery and mechanization of the agro-industrial complex, Far Eastern state agrarian university (86 Politekhnicheskaya st., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russia; e-mail: dara.kur111@mail.ru).

УДК 631.4

ГЛУБОКОЕ РЫХЛЕНИЕ МЕЖДУРЯДИЙ, КАК ПРИЁМ ОПТИМИЗАЦИИ АГРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ И ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО

В.В. Мазур, Л.А. Мазур

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет
Благовещенск, Россия

Аннотация. В работе обобщены данные о влиянии плотности почвы и глубокого рыхления междурядий на агрофизические свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур. Показано, что оптимальная плотность почвы для культурных растений составляет 1,0-1,2 г/см^3; при плотности 1,4 г/см^3 и выше сохраняют жизнеспособность лишь отдельные растения. Отклонение плотности пахотного горизонта от оптимальных значений на 0,1-0,3 г/см^3 может снижать урожайность на 20-45 %. Глубокое рыхление улучшает аэрацию и водопроницаемость почвы, снижает риск переувлажнения, уменьшает твёрдость почвы, способствует разрушению «Плужной подошвы» и повышению урожайности на 15-25 %. Отмечено негативное влияние уплотнения почвы ходовыми системами тяжёлых машинных агрегатов. Обоснована актуальность совершенствования технологии глубокого рыхления междурядий при возделывании кукурузы.

Ключевые слова: глубокое рыхление; междурядная обработка; кукуруза на зерно; плотность почвы; твёрдость почвы.

DEEP ROLLING OF INTER-ROW SPACE AS A METHOD FOR OPTIMIZING THE AGROPHYSICAL PROPERTIES OF SOIL AND INCREASING THE YIELD OF GRAIN CORN

V.V. Mazur, L.A. Mazur

FSBEI HE Far eastern state agrarian university
Blagoveshchensk, Russia

Annotation. The paper summarizes data on the effect of soil density and deep rolling of inter-row space on the agrophysical properties of soil and the productivity of agricultural crops. It has been shown that the optimal soil density for cultivated plants is 1,0-1,2 g/cm^3; at a density of 1,4 g/cm^3 or higher, only individual plants retain their viability. A deviation of the density of the arable layer from the optimal values by 0,1-0,2 g/cm^3 can reduce the yield by 20-45 %. Deep loosening improves soil aeration and water permeability, reduces the risk of waterlogging, decreases soil hardness, helps break up the “Plowpan,” and increases yields by 15-25 %. The negative impact of soil compaction by the running systems of heavy machine units has been noted. The relevance of improving the technology of deep loosening of inter-row spaces in corn cultivation has been substantiated.

Key words: deep loosening; inter-row cultivation; corn for grain; soil density; soil hardness.

Сельскохозяйственное производство в наши дни характеризуется активным внедрением машин, ростом энерговооружённости и увеличением размеров техники. Такая тенденция закономерно усиливает механическую нагрузку на почву, вызывая её чрезмерное уплотнение и ухудшение агрофизических свойств.

Особенно остро это проявляется при возделывании пропашных культур, в частности кукурузы, поскольку междурядная обработка является неотъемлемой частью технологии. Ходовые системы тяжёлых колёсных машин воздействуют не только на пахотный слой, но и на более глубокие горизонты. Это приводит к увеличению плотности почвы, повышению сопротивления при обработке, сокращению капиллярной пористости и угнетению почвенной микрофлоры. Как следствие, корневая система развивается ограниченно, нарушаются водный, воздушный и питательный режимы, что в конечном итоге снижает продуктивность. Плотность почвы выступает одним из важнейших интегральных параметров её агрофизического состояния.

Культурные растения лучше всего растут на рыхлых или среднеплотных почвах с плотностью 1,0-1,2 г/см^3. При достижении плотности 1,4 г/см^3 и выше выживают лишь единичные растения, а большинство погибает. Если плотность пахотного слоя в зоне посева отклоняется от оптимальной (1,0-1,3 г/см^3) на 0,1-0,3 г/см^3, урожайность падает на 20-45 % [1].

Глубокое рыхление междурядий способствует улучшению воздухообмена, повышению водопроницаемости, снижению риска переувлажнения, а также накоплению органического вещества и улучшению структуры почвы. При безотвальной основной обработке этот приём позволил снизить избыточную влажность с 31,1 % до 28,8 %. Кроме того, глубокое рыхление положительно влияет на физико-механические свойства. Например, при безотвальной и отвальной обработке исходная твёрдость составляла 1,4-2,0 МПа, а после глубокого рыхления междурядий она уменьшилась ещё на 0,2-0,5 МПа [2]. Таким образом, данный агроприём комплексно улучшает водно-физические и структурные характеристики почвы при выращивании пропашных культур.

Одной из главных проблем земледелия остаётся уплотнение почвы, вызванное движителями техники. Увеличение массы машин ведёт к сжатию не только верхнего слоя, но и более глубоких горизонтов, при этом наибольший ущерб наносят тяжёлые колёсные агрегаты [3]. Переуплотнение увеличивает плотность и сопротивление обработке в 1,5-2,0 и 1,3-1,9 раза соответственно. Одновременно снижается капиллярная пористость, что негативно сказывается на микрофлоре и приводит к потерям урожая [4].

Рыхление междурядий на глубину 20 и 30 см обеспечило оптимальную твёрдость и влажность в корнеобитаемой зоне в течение всего вегетационного периода. Биологическая урожайность увеличилась на 5,4 % и 8,1 % по сравнению с контролем, при этом твёрдость в междурядьях снизилась в среднем на 20 %, а в зоне корней – на 22-23 % [5].

На сегодняшний день самым эффективным методом борьбы с «Плужной подошвой» считается механическое воздействие на глубину 0,3-0,5 м с помощью глубокорыхлителя-щелевателя. Такая обработка разуплотняет нижние слои, нормализует поверхностный сток, улучшает структуру почвы и повышает урожайность культур на 15-25 %. Кроме того, запасы влаги возрастают на 30-40 мм, что создаёт благоприятные водно-физические условия для стабильных урожаев.

Поэтому совершенствование этой технологии остаётся актуальной задачей современного земледелия [6].

Экспериментально подтверждено преимущество глубокой обработки. В исследовании Сорнпуна В. и Джаясурии Х. [7] сравнивались пять схем: три традиционные, глубинная и минимальная. Было установлено, что именно глубокая обработка наиболее результативна – она улучшает физические свойства почвы и при своевременном внесении удобрений и средств защиты гарантирует рост урожайности кукурузы.

Выводы зарубежных коллег подтверждаются данными В.С. Полоус: в условиях Краснодарского края максимальная урожайность кукурузы была достигнута при вспашке на 25 см с последующим рыхлением. Поверхностная обработка (6-8 см) привела к снижению урожайности на 0,7 т/га. Эффективность глубоких обработок подтверждена и в работах других авторов [8].

Традиционная вспашка лемешно-отвальными плугами на глубину 26-30 см не решает проблему, а зачастую усугубляет её, формируя на границе пахотного горизонта так называемую «Плужную подошву», которая угнетает развитие корневой системы. На переуплотнённых почвах минимализация обработки неэффективна. Решением проблемы является применение орудий с чизельными и комбинированными рабочими органами [9].

Одним из важных аспектов получения высокого урожая кукурузы является поддержание благоприятных агрофизических свойств почвы, оказывающих значительное влияние на водный, воздушный режим, рост, развитие и урожайность кукурузы [10].

Глубокое рыхление предусматривает обработку почвы на глубину более 25 см. Оно необходимо для разрушения переуплотнённого слоя почвы (плужной подошвы), для повышения водопроницаемости почвенного профиля. Главная задача глубокого рыхления – разрушить переуплотнённый слой почвы, который препятствует фильтрации влаги и нормальному развитию корневой системы растений [11].

Для снижения функции перемешивания при глубокой обработке почвы применяют рабочие органы, оборудованные узкими долотообразными наральниками. При глубокой обработке почвы рабочие органы должны создавать в переуплотнённом слое некапиллярные поры, щели, в которые может легко проникать влага. После выпадения осадков обработанная почва более равномерно намокает, набухает, расширяется, заполняя созданные рабочими органами полости, и равномерно разуплотняется. При этом процессе почва обретает свою природную структурность (способность распадаться на отдельные агрегаты). Глубокая обработка суглинистых грунтов обеспечивала более интенсивное проникновение влаги в разрыхлённый слой, расположенный под пахотным горизонтом, и в сравнении с традиционной вспашкой повышала дренажный сток на 52-55 %. Улучшение структуры пор и фильтрационных свойств положительно отразилось на росте суммарных запасов почвенной воды и заметно изменило её распределение по вертикали грунтового профиля. Кроме того, наблюдалась нормализация

температурного режима и активизация аэробной микрофлоры, что вело к обогащению питательной среды для растений [12].

Следовательно, глубокое рыхление при междурядной обработке кукурузы выступает важнейшим фактором формирования оптимальных условий для функционирования корневой системы. Оно содействует гармонизации водно-воздушного баланса, стимулирует образование дополнительных питающих корней, уменьшает вероятность полегания культуры и способствует росту итоговой продуктивности. Дальнейшее совершенствование методов глубокого рыхления, включая подбор рациональной глубины, частоты выполнения и интеграции с минимальной обработкой, внесением удобрений и защитными мерами, остаётся приоритетной задачей в современном агропроизводстве.

Список литературы

1. Повышение эффективности обработки почвы рыхлительным органом глубокорыхлителя / *В.П. Чеботарев, Г.А. Радишевский, Г.Н. Портянко* [и др.] // Агропанорама. – 2023. – № 3 (157). – С. 21-25. – DOI 10.56619/2078-7138-2023-157-3-21-25. – EDN OXZWTM.

2. *Максимов В.П., Ушаков А.Е.* Моделирование процессов восстановления структуры переуплотненных почв глубокорыхлителем // Вестник НГИЭИ. 2022. № 5 (132). С. 23-34. DOI: 10.24412/2227- 9407-2022-5-23-34.

3. *Максимов Д.А., Устроев А.А.* Научные принципы формирования биологизированной технологии возделывания картофеля Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 1 (98). С. 82-93.

4. *Токушев, Ж.Е.* Теория и расчет орудий для глубокого рыхления почв / *Ж.Е. Токушев.* - М. : ИНФА-М, 2003. - 234 с.

5. *Захаров, А.М.* Оценка эффективности глубокой обработки междурядий и ферментированного компоста при возделывании картофеля по органической технологии / *А.М. Захаров*, *Е.А. Мурзаев*, *Д.Ю. Иванов* // АгроЭкоИнженерия. – 2022. – № 1 (110). – С. 65-74. – DOI 10.24412/2713-2641-2022-1110-65-74. – EDN MNENVL.

6. *Dresemann, J.A., Ranscht, L., Kuhwald, M.* et al. A comparative study of three weed management technologies on a typical farm in Western Pomerania, Germany: integrating economic analysis and soil compaction risk modeling. Precision Agric 26, 95 (2025).

7. *Sornpoon W., Jayasuriya H.P.* Effect of different tillage and residue management practices ongrowth and yield of corn cultivation in Thailand // Agricultural engineering international: CIGR Journal. 2013.Vol. 15. No. 3. P. 86-94.

8. *Cao H. B., Xie J. Y., Hong J. Wang X. Hu W. Hong J.* Organic matter fractions within macroaggregates in response to long-term fertilization in calcareous soil after reclamation // Journal of Integrative Agriculture. 2021. Vol. 20. Iss. 6. P. 1636-1648. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63354-8.

9. *Борисенко И.Б., Кияев В.Н., Махнов Ю.В., Новиков А.Е., Овчинников А.С., Плескачев Ю.Н., Цепляев А.Н., Борисенко П.И.* Почвообрабатывающее орудие // Патент России 2489826. 2013.

10. *Миллер, Е.И.* Агрофизические свойства и урожайность кукурузы в зависимости от основной обработки почвы в северной лесостепи Тюменской области / *Е.И. Миллер, В.В. Рзаева, С.С. Миллер* // Аграрный вестник Урала. – 2018. – № 9 (176). – С. 4-6.

11. *Соколов Н.А., Дьяченко О.В., Бабьяк М.А.* Тенденции биологизации земледелия Брянской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 65-73.

12. Растениеводство. / *В.Е. Ториков*, *Н.М. Белоус*, *О.В. Мельникова,* и др. – Санкт-Петербург : Лань, 2024.

Сведения об авторах

Мазур Владимир Валерьевич – старший преподаватель кафедры транспортно-энергетических средств и механизации АПК. Дальневосточный государственный аграрный университет (675000, Россия, Амурская область, Благовещенск, тел.: 89140600176, e-mail: vmazur149@mail.ru).

Мазур Лилия Александровна – студент магистратуры Дальневосточный государственный аграрный университет (675000, Россия, Амурская область, Благовещенск, тел.: 89145886923, e-mail:timoshencko.lili@yandex.ru).

Information about the authors

Mazur Vladimir V. – senior lecturer at the department of transport and energy resources and mechanization of the agro-industrial complex. Far eastern state agrarian university (675000, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, tel.: 89140600176, e-mail: vmazur149@mail.ru).

Mazur Liliya A. – is a master's student at the Far eastern state agrarian university (675000, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, tel.: 89145886923, e-mail: timoshencko.lili@yandex.ru).

УДК 631.517

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ СОИ ЗА СЧЁТ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Л.А. Мазур

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет
Благовещенск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается значение междурядной обработки при возделывании сои широкорядным способом, особенно в органическом земледелии, где применение гербицидов ограничено. Показано, что роботизация на основе машинного зрения и автоматического регулирования положения рабочих органов позволяет устранить часть этих ограничений. Подробно описан роботизированный культиватор *Horsch Transformer*: его состав, рабочие органы, защитные диски и щитки, камеры *RowLift* (*SectionControl*) и *Culticam*, принцип работы гидравлического смещения секций, копирование рельефа и автоматический подъём секций по сигналу *GPS*. Приведены технические преимущества: точность следования по рядку до миллиметра, диапазон сдвига до 450 мм, настройка междурядья от 15 до 80 см, рабочая скорость до 14 км/ч и ширина захвата 6-12 м.

Ключевые слова: соя, широкорядный посев, междурядная обработка, роботизированный культиватор, автоматическое вождение, точное земледелие, органическое земледелие, ресурсосбережение, устойчивое растениеводство.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF INTER-ROW SOYBEAN CULTIVATION USING MACHINE VISION AND AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

L.A. Mazur

FSBEI HE Far eastern state agrarian university
Blagoveshchensk, Russia

Annotation. The article examines the importance of inter-row cultivation in wide-row soybean farming, particularly in organic agriculture where herbicide use is restricted. It demonstrates that robotic systems utilizing machine vision and automatic tool positioning can help overcome some of these limitations. The Horsch Transformer robotic cultivator is described in detail, covering its components, working tools, protective discs and shields, RowLift (SectionControl) and Culticam camera systems, as well as the principles behind hydraulic section shifting, terrain contour following, and automatic section lifting triggered by GPS signals. Technical advantages are highlighted, including millimeter-level row-following accuracy, a lateral shift range of up to 450 mm, adjustable row spacing (15-80 cm), an operating speed of up to 14 km/h, and a working width of 6-12 m.

Key words: soybean, wide-row planting, inter-row cultivation, robotic cultivator, automatic guidance, precision agriculture, organic farming, resource conservation, sustainable crop production.

Соя – это важная сельскохозяйственная культура. Без хорошего ухода за посевами не получить высоких и стабильных урожаев. Междурядная обработка имеет важное значение в выращивании сои широкорядным способом посева. Механический уход подавляет сорную растительность, улучшает аэрацию почвы, создавая условия для нормального развития корней. В органическом земледелии, где гербициды или запрещены, или ограничены, механический уход особенно важен.

Чтобы эффективно обрабатывать междурядья, аграрии применяют современные культиваторы. Эти машины делают обработку точной и щадящей. Рынок предлагает много различных вариантов, от классических отечественных моделей до высокотехнологичных зарубежных роботизированных комплексов.

Однако у классических культиваторов есть свои минусы. Они требуют от механизатора высокого уровня подготовки механизаторов и ограничивают рабочую скорость. Всё потому, что с ростом скорости увеличивается опасность травмирования растений и засыпания рядков почвой.

Положение осложняется ещё и нехваткой опытных специалистов в сельском хозяйстве: это ведёт либо к падению производительности механизированного ухода за посевами, либо к увеличению риска потери части урожая.

Роботизация междурядной обработки способна снять часть этих ограничений. Речь идёт об объединении систем машинного зрения и автоматического регулирования положения рабочих органов. Центральное место в такой схеме отводится визуальной навигации, благодаря которой культиватор с высокой точностью движется вдоль рядов сои.

Создание и исследование средств автоматического распознавания рядков сои востребованная научно-техническая задача. Её успешное решение создаст предпосылки для перехода к ресурсосберегающему и экологически безопасному возделыванию главной масличной культуры Дальневосточного региона.

Роботизированный культиватор *Horsh Transformer* 9 *VF*, представленный на рисунке 1, состоит из нескольких составных частей, которые обеспечивают его функциональность.

Включает в себя основную раму из специальной профильной трубы (рабочие секции, параллелограммы для ведения глубины обработки (крепятся на раме одним болтом, позволяют легко настраивать междурядье). Так же опорные колёса с регулировочным винтом для настройки глубины, колёса для копирования

рельефа. Рабочие органы, оснащённые стрельчатыми лапами шириной от 80 до 230 мм. Технические характеристики культиватора представлены в таблице 1.



Рисунок 1 – **Роботизированный культиватор *Horsh Transformer***

Таблица 1 – **Технические характеристики роботизированного культиватора *HORSCH Transformer* 9 *VF***

№	Показатель	Значение
1	Ширина захвата, м	9
2	Ширина междурядья, м	0,35
3	Количество рядов рабочих органов, шт	1
4	Масса орудия, кг	2950
5	Рабочая высота рамы, мм	750
6	Рабочий орган	стрельчатые лапы на *S*-образной стойке
7	Глубина обработки, см	5
8	Расстояние между лапами в ряду, см	12
9	Рабочая скорость, км/ч	3-14

Для защиты растений предусмотрены защитные диски (для свёклы, сои, рапса) или защитные щитки (для кукурузы, подсолнечника).

Ключевая особенность – инновационная камера, с функцией *RowLift* (*SectionControl*) (рисунок 2).

Она обеспечивает стабильное качество работы на всей площади поля, а также снижает нагрузку на водителя. Для максимально точного ведения пропашного культиватора вдоль рядов растений рекомендуется устанавливать камеру *Culticam* в качестве дополнительной опции. Она распознаёт ряд растений в 2*D* или 3*D* режиме даже в сложных условиях. Кроме того, можно выбрать систему освещения для уверенной работы даже в сумерках или ночью.

Функция подъёма отдельных сегментов рабочих органов (*RowLift*) обеспечивает неизменно высокую точность обработки, не снижающуюся даже на фоне усталости оператора. Полностью автоматическое приложение безошибочно

поднимает рабочие органы в отдельных рядах с помощью сигнала *GPS* и снова опускает их.

Принцип работы заключается в следующем: видеокамера, установленная перед агрегатом, в реальном времени сканирует поле, определяя линию рядка с культурными растениями. Сигнал поступает на гидравлический блок смещения, который корректирует положение рабочих секций. За счёт этого орудие удерживается по центру междурядья: точность позиционирования достигает 1 мм, а боковой ход – до 450 мм.



Рисунок 2 – **Роботизированная система высокоточного наведения**

При движении параллелограммная подвеска с опорными колёсами повторяет рельеф, поэтому глубина обработки остаётся стабильной. Стрельчатые лапы подрезают сорняки и разрыхляют почву, улучшая её аэрацию. Когда агрегат идёт по диагонали или разворачивается, система *RowLift* получает *GPS*-сигнал и автоматически поднимает секции, чтобы не повредить культурные растения. Настройка междурядья – от 15 до 80 см – и глубины обработки выполняется без дополнительного инструмента: через консольные профили и эргономичные рукоятки на опорных колёсах.

Horsch Transformer отличают точное ведение по рядку благодаря встроенной гидравлической коррекции, широкий диапазон применения для пропашных и зерновых культур, рабочая скорость до 14 км/ч и захват от 6 до 12 м. Высокий клиренс рамы и интеллектуальный подъём секций снижают риск повреждения посевов.

Анализ показывает, что роботизированная междурядная обработка может составить конкуренцию и традиционным культиваторам, и химической защите сои. Техническое зрение и автоматическое боковое выравнивание позволяют удерживать рабочие органы в допустимых пределах даже на высокой скорости, на склонах, при засорённости и в ночное время. Поэтому такая обработка перестаёт быть только экспериментальной разработкой и становится обычным агротехническим приёмом, важным для устойчивого растениеводства.

Список литературы

1. *Булгариев, Г.Г.* Машины и орудия для поверхностной обработки почвы (конструкция, теория, расчет, эксплуатация) / *Г.Г. Булгариев, А.Р. Валиев, Г.В. Пикмуллин* – Казань : Казанский государственный аграрный университет, 2022. – 288 с.

2. *Дищенко П.А., Лонцева И.А.* Анализ экспериментальных данных обработки почвы по стерневому фону // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2024. С. 70-74.

3. *Кучер, В.В.* Технология междурядной обработки сои / *В.В. Кучер* // Актуальные исследования молодых ученых - результаты и перспективы : Материалы 2-ой всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной Дню российской науки, Благовещенск, 12 февраля 2025 года. – Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. – С. 226-232. – EDN MRROKP.

4. *Мазур В.В., Никульчев К.А., Кувшинов А.А., Сахаров В.А.* Определение оптимальных параметров комбинации рабочих органов культиватора для междурядной обработки кукурузы в условиях Амурской области // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 4. С. 197-208.

5. Обоснование параметров приспособления для формирования противоэрозионного рельефа в междурядьях пропашных культур / *А.Ю. Несмиян, А.М. Семенихин, В.А. Богомягких, Д.С. Фоменко* // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. - № 4. – С. 21-30. – ISSN 2075-6704. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/312143.

6. *Панасюк А.Н., Мазур В.В., Бумбар И.В.* Модернизированный культиватор для ухода за посевами кукурузы // Сельский механизатор. 2024. № 12. С. 14-16.

7. *Припоров, Е.В.* Сравнительный анализ культиваторов для предпосевной обработки почвы / *Е.В. Припоров, И.Е. Припоров, Г.Е. Самурганов* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1. – С. 77-81.

8. *Припоров, И.Е.* Робототехнические устройства для малых сельскохозяйственных предприятий / *И.Е. Припоров* // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблем : Материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием приуроченной к 20 летнему юбилею академии, Кемерово, 23-24 июня 2022 года. – Кемерово : Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 422-426.

9. Разработка комбинированного прицепного культиватора для предпосевной обработки почвы при производстве мелкосемянных культур / *А.А. Васильев, М.В. Богиня, Е.Н. Олейникова* [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2026. – № 1 (343). – С. 20-23. – DOI 10.33267/2072-9642-2026-1-20-23. – EDN TNRLOV.

10. *Богиня, Н.М.* Влияние скорости движения комбинированной машины для поверхностной обработки почвы на ее технологические показатели / *Н.М. Богиня* // Инновационные тенденции развития российской науки : Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29-31 марта 2023 года. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 265-267. – EDN KYSUTO.

Сведения об авторе

Мазур Лилия Александровна – студент магистратуры Дальневосточный государственный аграрный университет (675000, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, тел.: 89145886923, e-mail:timoshencko.lili@yandex.ru.

Information about the author

Mazur Liliya A. – is a master’s student at the Far eastern state agrarian university (675000, Russia, Amur region, Blagoveshchensk, tel.: 89145886923, e-mail: timoshencko.lili@yandex.ru).

УДК 631.223.2

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ УНИФИЦИРОВАННОГО СУММАРНОГО ИНДЕКСА ПРЕВЫШЕНИЯ ПДК (СИП) ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОКЛИМАТА СКОТОПОМЕЩЕНИЙ ЯКУТИИ

[1]А.О. Нератов, В.П. [2]Друзьянова, [2]Н.В. Петров

[1]ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет
Якутск, Россия
[2]ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Якутск, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты исследования микроклимата скотопомещения в условиях Якутии (с. Октемцы, Хангаласский улус), проведённого с октября 2025 по январь 2026 года. Объектом изучения являлся СИП – суммарный индекс превышения ПДК, разработанный для скотопомещений. Актуальность обусловлена необходимостью более точной математической оценки газового состава воздуха в животноводческих помещениях, так как существующие методы не всегда чувствительны к опасным превышениям предельно допустимых концентраций (ПДК) отдельных газов.

Ключевые слова: животноводство, КРС, производительность, микроклимат, газоанализатор, Якутия, суммарный индекс превышения ПДК.

RECOMMENDATIONS FOR DEVELOPING A UNIFIED SUMMARY INDEX OF PERMISSIBLE-LIMIT EXCEEDANCE (SIP) FOR ASSESSING THE MICROCLIMATE OF CATTLE BARNS IN YAKUTIA

[1]A.O. Neratov, [2]V.P. Druzianova, [2]N.V. Petrov

[1]FSBEI HE Arctic state agrotechnological university
Yakutsk, Russia
[2]FSAEI HE North-eastern federal university named after M.K. Ammosov
Yakutsk, Russia

Annotation. This paper presents the findings of a microclimate study conducted in a cattle barn in Yakutia (Oktemtsy village, Khangalassky district) from october 2025 to january 2026. The subject of the study is the total exceedance index (TEI) of maximum permissible concentrations (MPC), tailored for cattle housing. The relevance of the study stems from the necessity for a more accurate mathematical assessment of the indoor air gas composition in livestock buildings, as existing methods are not always sensitive to hazardous exceedances of maximum permissible concentrations (MPC) for individual gases.

Key words: animal husbandry, cattle, productivity, microclimate, gas analyzer, Yakutia, total MPC exceedance index.

В период с октября 2025 по январь 2026 года нами были проведены исследования на ферме, расположенной в с. Октемцы Хангаласского улуса республики Саха (Якутия). Объект изучения – состояние микроклимата в скотопомещении, где содержится молодняк крупного рогатого скота, рождённого в апреле 2025 г.

Российские учёние, такие как Гриднева Т.Т. и Башкирова А.М. так же изучали микроклимат в животноводческих помещениях [1, 3]. Зарубежные учёные, такие как *Kim K.Y.* и *Kim J.K.*, аргентинские учёные (*Sosa E.* с соавт.) и в Канаде *Waldner C.L.* изучали проблему влияния вредных газов в воздухе на продуктивность сельскохозяйственных животных [8, 9, 11]. Все они пришли к выводу, что качество воздуха и его состав влияют на физиологию и продуктивность животных. Однако все эти исследования проводились в регионах России с умеренным климатом, и нет достаточной информации об исследованиях газового состава скотопомещений в Якутии, в условиях Крайнего севера.

Актуальность нашего исследования обусловлена тем, что разработанный суммарный индекс превышения ПДК (СИП) и его шкала были внедрены и апробированы на частной ферме с. Октемцы Хангаласского района, однако требует проверки и адаптации для других хозяйств Якутии.

Животноводческая ферма имеет длину 30 м, ширину 10 м и высоту 2,8 м, вмещая 60 голов КРС (6 дойных коров и 54 телёнка). Кормление – сухое, по 2 рулона сена (200 кг) в день на всё стадо; водопотребление составляет 12 м^3 в неделю.

Общий вид скотопомещения представлен на рисунках 1, 2.



Рисунок 1 – **Общий вид скотопомещения**



Рисунок 2 – **Утепление стен слоем навоза**

Основным прибором при исследованиях является газоанализатор марки Сенсон-М (рисунок 3).



Рисунок 3 – **Показатели газоанализатора «Сенсор-М»**

Цель исследования: разработать универсальный нормированный суммарный индекс превышения ПДК (СИП) на основе метода средней степенной величины и создать универсальную шкалу для оценки качества воздуха, что позволит более точно математически описать газовое содержание микроклимата скотопомещений.

Задачи исследования:

1. Проанализировать существующие подходы;
2. Разработать формулу СИП_норм;
3. Проверить модель на экспериментальных данных;
4. Сформировать шкалу оценки качества воздуха.

Практическое применение: используя газоанализаторы, с помощью разработанного метода, фермер сможет выявить максимально точное состояние микроклимата скотопомещения по видам газов и принять решение о модернизации системы вентиляции. Следует отметить, что разработанная шкала СИП позволяет вне зависимости от марки газоанализатора определить ту или иную степень отклонения газовых параметров.

Предметом исследования является математическая модель унифицированного суммарного индекса превышения ПДК $\left(\text{СИП}_{\text{норм}}\right)$ для оценки микроклимата скотопомещений.

Предполагается, что использование средней степенной величины позволит повысить чувствительность индекса к опасным превышениям концентраций отдельных газов.

Новизна работы заключается в разработке универсального нормированного индекса оценки качества воздуха в скотопомещениях на основе степенной средней.

По результатам первоначальных исследований нами была предложена следующая зависимость [4]:

$$\text{СИП} = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i K_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (1)$$

где C_i – результат замера газа;
ПДК_i – предельная допустимая концентрация газа;
K_i – весовой коэффициент газа.

Для унифицирования значения СИП, по аналогии с *AQI* (*Air Quality Index*) можно максимальное значение СИП принимать по величине одного газа, концентрация которого максимальна в текущий момент.

$$\text{СИП}_{max} = \max \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \cdot K_i. \quad (2)$$

Однако, тогда теряется и не учитывается содержание других газов в микроклимате помещения.

Можно взять среднее арифметическое из полученной суммы из формулы 1:

$$\text{СИП} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i \times K_i}{\text{ПДК}_i}. \quad (3)$$

Но в таком случае, СИП будет не чувствителен к опасным превышениям. Если все газы будут в норме, а один газ пятикратно превышает свою

концентрацию, то значение СИП будет равно 1,67 и опасность будет нивелирована усреднением.

Поэтому необходимо модернизировать существующую формулу СИП с помощью метода средней степенной величины. Данный метод был разработан гонконгскими учёными в 2018 году и апробирован на данных о загрязнении воздуха в Гонконге и госпитализации населения [10]. Авторы исследования взяли степенную среднюю величину от каждого загрязнителя – это обобщающий показатель в статистике, который вычисляется путём возведения значений признака в определённую степень *d*, нахождения их среднего арифметического и последующего извлечения корня степени *d*.

В общем виде данная формула выглядит так [7]:

Степенные средние в зависимости от представления исходных данных могут быть простыми и взвешенными. Простая средняя считается по не сгруппированным данным и имеет следующий общий вид:

$$x_d = \sqrt[d]{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^d} \quad (4)$$

где x_i – вариант (значение) унифицируемого признака;
d – показатель степени средней;
n – число вариантов.

В нашем случае, формулу СИП предлагаем преобразовать в такой вид:

$$\text{СИП}_{\text{норм}} = \sqrt[d]{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{C_i \times k_i}{\text{ПД}K_i}\right)^d} \quad (5)$$

Исходя из полученных нами результатов исследований, изложенных в работе [4], по предложенной нами формуле (5) новый $\text{СИП}_{\text{норм}}$ с $d = 3$ (как у гонконгских коллег) в октябре 2025 г будет равен 6,42.

Результаты измерений концентрации газов, а именно их отношение к своим ПДК за 4 месяца приведены в таблице 1.

Таблица 1 – **Превышения ПДК (в количестве раз) и весовой коэффициент, согласно классу опасности [2, 5, 6]**

№	Виды	K_i	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь
1	Углекислый газ, ПДК	0,9	1,65	3,00	9,68	8,80
2	Угарный газ, ПДК	0,9	0,06	0,04	0,23	0,14
3	Диоксид азота, ПДК	1,0	0,25	0,17	0,03	0,14
4	Формальдегид, ПДК	1,3	3,76	0,00	3,24	4,16
5	Оксид серы, ПДК	1,0	0,01	0,00	0,02	0,02
6	Пропан, ПДК	0,9	12,63	9,38	37,45	14,26

Допустим, газоанализатор бы измерял только 1 газ – например, углекислый. В таком случае СИП был бы равен 1,48.

Для других комбинаций газов получены следующие значения (СИП_*n* – индекс, рассчитанный на основе *n* количества газов, СИП_сред – среднее от полученных данных) (рисунок 4):

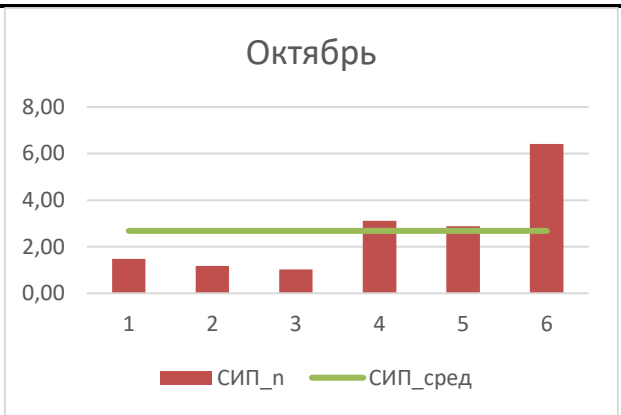


Рисунок 4 – **Сравнение СИП с разным количеством измеряемых газов (октябрь)**

СКО при данной формуле между значениями СИП с разным d = 2…6 составляет 2,03.



а б в

а – Ноябрь, б – Декабрь, В – январь.

Рисунок 5 – **Сравнение СИП с разным количеством измеряемых газов**

По формуле (4) рассчитаны значения СИП для значений степеней d от 2 до 6. Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – **Значения СИП при d = 2…6**

п/п	d	СИП_d	СКО
1	2	5,09	1,55
2	3	6,42	2,03
3	4	7,32	2,36
4	5	7,96	2,59
5	6	8,44	2,77

Как видно из таблицы 2, $d = 2$ является наиболее оптимальным значением для расчёта $СИП_{норм}$.

На основе выбранной степени $d = 2$ были рассчитаны новые значения $СИП_{норм}$ за каждый месяц исследований (таблица 3).

Наибольший привес (6,52 кг) зафиксирован в январе, когда СИП снизился до 6,54, тогда как в декабре, при критическом уровне СИП (14,32), привес упал до 0,91 кг. Средняя температура декабря составляла ниже -42,5° С, вентиляционные люки обледенели, проветривание стало невозможным. Это подтверждает

чувствительность предлагаемого индекса к реальным условиям содержания животных.

Таблица 3 – **Значения СИП за период исследований**

№	Месяц	СИП	Привес, кг	Температура на улице, °С
1	октябрь	5,09	Нет данных	-7
2	ноябрь	3,62	4,00	-25
3	декабрь	14,32	0,91	-42,5
4	январь	6,54	6,52	-35

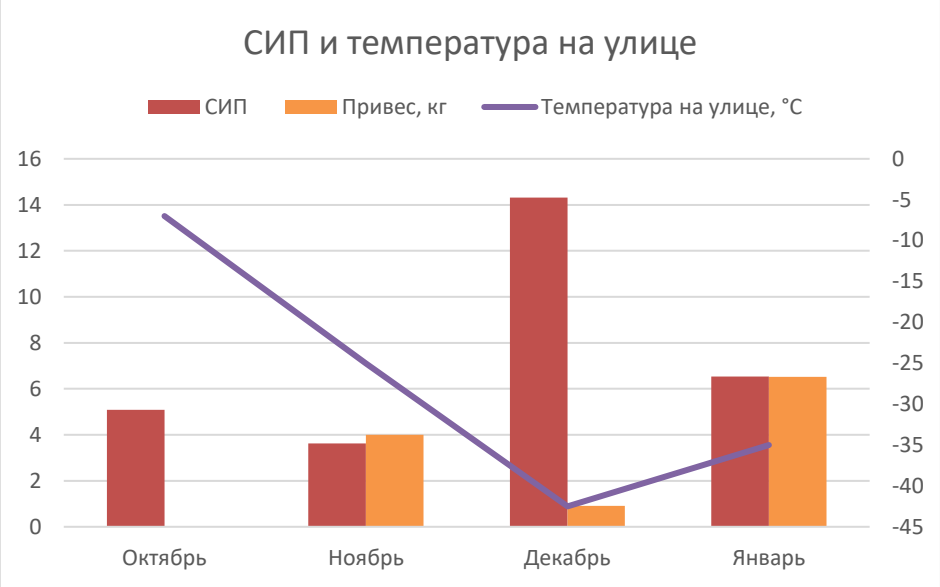


Рисунок 6 – **Сопоставление значений СИП с уличной температурой**

Значения $СИП_{норм}$ за весь период наблюдений (октябрь-январь) варьировались от 3,62 до 14,32. На основе распределения этих значений были определены следующие границы:

Таблица 4 – **Универсальная шкала оценки качества воздуха по $СИП_{норм}$**

№	СИП	Оценка	Рекомендация
1	< 4,0	отлично	Не требуется
2	4,0 – 5,0	хороший	Плановое проветривание
3	5,0 – 7,0	удовлетворительный	Усилить вентиляцию
4	7,0 – 10,0	повышенный	Срочная модернизация
5	10,0 – 15,0	высокий	Опасность для животных
6	> 15,0	критический	Эвакуация

Предложенный индекс основан на среднем степенном второго порядка, что позволяет:

• Обеспечить независимость результата от количества измеренных газов (при равных концентрациях);

• Повысить чувствительность к опасным превышениям ПДК за счёт возведения во вторую степень;

• Сохранить физическую интерпретацию как обобщённого кратного превышения норматива.

Среднее арифметическое (формула 3) не обладает достаточной чувствительностью к выбросам и может занижать реальную опасность. Предложенная формула свободна от этого недостатка и применима для любых наборов газов, измеренных в скотопомещениях Якутии.

Разработанный индекс $СИП_{норм}$ является универсальным, математически корректным и пригодным для использования в хозяйствах с любым набором газоанализаторов. Его применение позволяет фермерам объективно оценивать микроклимат скотопомещений и своевременно принимать решения о модернизации вентиляции.

Для дальнейших исследований необходимо апробировать формулу для разных хозяйств в Якутии, сравнить результаты и сделать более точную оценку введённого индекса.

Список литературы

1. *Башкирова, А.М.* Методы снижения вредных газов в животноводческих помещениях / *А.М. Башкирова, Н.Л. Лопаева* // Молодежь и наука. – 2023. – № 1. – EDN CQJTVQ.

2. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений : Гигиенические нормативы : утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 22.12.2017 № 165. – Москва, 2017. – 48 с.

3. *Гриднева, Т.Т.* Эмиссия вредных газов при производстве животноводческой продукции // Техника и технологии в животноводстве. 2012. № 4 (8). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/emissiya-vrednyh-gazov-pri-proizvodstve-zhivotnovodcheskoy-produktsii (дата обращения: 14.02.2026).

4. *Нератов А.О., Друзьянова В.П.* – Анализ влияния вредных газов на продуктивность КРС в условиях Якутии – Дальневосточный вестник, выпуск № 2 от 30.06.2026 (планируется к печати)

5. О качестве атмосферного воздуха в Пермском крае в 2021 году : часть 2 доклада "О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2021 году" / Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Текст : электронный // Гарант.ру : информационно-правовой портал. – 2022. – URL: https://base.garant.ru/405043647/741609f9002bd54a24e5c49cb5af953b/ (дата обращения: 28.02.2026).

6. ПОТ РО 14000-005-98. Положение. Работы с повышенной опасностью. Организация проведения : утв. Минэкономики РФ 19.02.1998. Таблица 7 «Классификация опасности веществ» // Судебные и нормативные акты РФ (СудАкт) : [сайт]. – URL: https://sudact.ru/law/print/pot-ro-14000-005-98-polozhenie-raboty-s-povyshennoi/polozhenie/13/13.1/tablitsa-7/ (дата обращения: 07.03.2026).

7. *Чернова, Т.В.* Экономическая статистика : учебное пособие / *Т.В. Чернова*. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 1999. – URL: http://www.aup.ru/books/m81/ (дата обращения: 11.05.2026).

8. *Kim K.Y., Kim J.K.* Association between indoor air pollutants and pig productivity index by on-site application of air cleaner // Journal of Animal Science and Technology. – 2025. – Vol. 67, Article e00087. – DOI: 10.5187/jast.2025.e00087.

9. *Sosa E., Ricci P., Di Leo C.* et al. Respiratory distress in Holstein cows fed corn silage: case report // Revista Veterinaria. – 2023. – Vol. 34, No. 2. – P. 126–129. – DOI: 10.30972/vet.3426789.

10. *Thach, T.Q.* A novel method to construct an air quality index based on air pollution profiles [Электронный ресурс] / *T.Q. Thach, H. Tsang, P. Cao, L.M. Ho*. – DOI 10.1016/j.ijheh.2017.09.012 // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2018. – Vol. 221, No. 1. – P. 17–26. – Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28988894/ (дата обращения: 25.04.2026).

11. *Waldner, C.L.* Western Canada study of animal health effects associated with exposure to emissions from oil and natural gas field facilities. Study design and data collection I. Herd performance records and management // Archives of Environmental & Occupational Health. – 2008. – Vol. 63, No. 4. – P. 167–184. – DOI: 10.3200/AEOH.63.4.167-184.

Сведения об авторах

Нератов Анатолий Олегович – старший преподаватель, арктический государственный агротехнологический университет, (677007, Россия, республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш. 3 км, 3, тел.: 8(981)185-2707, email: ao_n@list.ru).

Друзьянова Варвара Петровна – доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова», (677013, Россия, республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Кулаковского, 50, тел.: 8(984)113-8724, email: druzvar@mail.ru).

Петров Николай Вадимович – доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова», (677013, Россия, республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Кулаковского, 50, тел.: +7(984)100-1252, email: petnikvad1988@mail.ru).

Information about the authors

Neratov Anatoly O. – arctic state agrotechnological university (3, 3rd km of Sergeylyakhskoye Highway, Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), 677007, Russia, tel.: +7(981)185-2707, e-mail: ao_n@list.ru).

Druzianova Varvara P. – doctor of technical sciences, professor, M. K. Ammosov north-eastern federal university (50 Kulakovskogo st., Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), 677013, Russia, tel.: +7(984)113-8724, e-mail: druzvar@mail.ru).

Petrov Nikolai V. – doctor of technical sciences, associate professor, M. K. Ammosov north-eastern federal university (50 Kulakovskogo st., Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), 677013, Russia, tel.: +7(984)100-1252, e-mail: petnikvad1988@mail.ru).

УДК 519.862.6:63

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА ПАРЕТО В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Н.И. Овчинникова, М.А. Быкова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье приводится понятие принципа Парето, рассмотрены возможные сферы его применения. В сельскохозяйственных технологических системах, состоящих из технической составляющей и человека-оператора, работающих в вероятностной окружающей природно-климатической среде, проявление этого принципа влияет на их надёжность, производительность и энерго-экономические затраты. Для увеличения эффективности и оптимизации работы рассматриваемых систем предложены практические рекомендации по смещению фокусов используемых ресурсов по Парето.

Ключевые слова: принцип Парето, сельскохозяйственная технологическая система, «Человеческое» звено, беспилотная человеко-машинная система.

APPLICATION OF THE PARETO PRINCIPLE IN AGRICULTURAL TECHNOLOGICAL SYSTEMS

N.I. Ovchinnikova, M.A. Bykova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article introduces the Pareto principle and examines its potential areas of application. In agricultural technological systems – comprising a technical component and a human operator and operating within a stochastic natural-climatic environment – the manifestation of this principle impacts system reliability, productivity, and energy-economic costs. To enhance efficiency and optimize the operation of these systems, practical recommendations are proposed regarding the shifting of resource allocation in accordance with the Pareto principle.

Key words: Pareto principle, agricultural technological system, "Human" link, unmanned human-machine system.

Принцип (правило) Парето, названный в честь итальянского экономиста и социолога Вильфредо Парето (1848-1923), состоит в том, что 20 % усилий приводит к 80 % результатов или следствий [3]. В 1897 году он заметил интересную статистику: 80 % земельных угодий в Италии принадлежали всего 20 % населения и похожая картина наблюдалась в других государствах. Дальнейший анализ показал, что эта закономерность универсальна и выходит далеко за рамки распределения капитала. Аналогичный дисбаланс обнаружен им в экономике и социологии, что позволило сформулировать базовый принцип: в большинстве систем подавляющая часть следствий проистекает из малого числа причин. Позднее эта неравномерность им математически описана в виде степенного распределения (распределение Парето), которое моделирует случайные величины, где малая часть элементов обладает огромной долей общего значения.

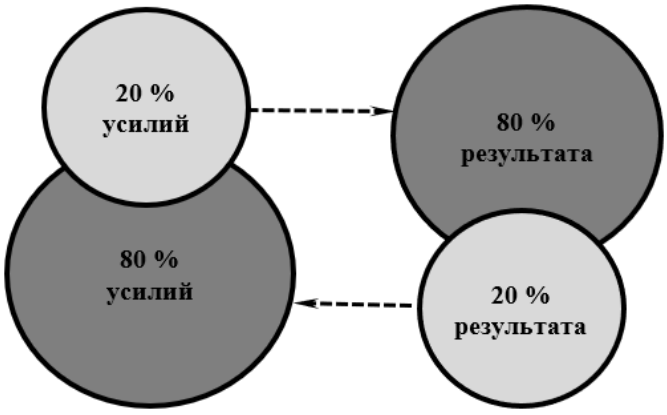


Рисунок 1 – **Принцип Парето**

Популяризацию принципа Парето начал американский инженер, консультант по качеству и учёный румынского происхождения Джозеф Мозес Джуран (1904-2008), распространивший его на производственные технические и бизнес-процессы, введя понятие «Принцип немногого, имеющего решающее значение». Он доказал, что 80 % дефектов и потерь вызваны всего 20 % причин. Им были

внедрены *диаграммы Парето* во многие заводы мира, чтобы инженеры прекратили распылять силы и точечно находили ключевые источники брака. Следует помнить, что конкретное соотношение 80 / 20 является условным (в реальной жизни соотношение может быть 70 / 30, 85 / 15, 90 / 10 или даже 95 / 5), но отражает главную закономерность – неравномерность распределения причин и на фоне цифровизации, автоматизации и огромного роста объёмов информации следствий в природе.

В XXI веке, принцип Парето стал ещё актуальнее. Приведём сводную таблицу некоторых примеров того, как принцип Парето работает сегодня в технике, экономике, образовании и других ключевых сферах.

Таблица 1 – **Сводная таблица применения принципа Парето в XXI веке**

Сфера	**Причина/точка фокуса, 20 %**	**Результат/следствие, 80 %**
1. Техника	Оптимизация алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) и критического кода	Скорость работы и стабильность софта
2. Экономика	VIP-клиенты и фокусные товары (категория А)	Стабильная прибыль и выживаемость бизнеса
3. Образование	Частотные понятия, база и интенсивная практика	Быстрое освоение новой профессии / навыка
4. Медицина	Профилактика топ-5 хронических болезней	Сохранение продолжительности жизни нации
5. Сельское хозяйство а) земледелие	Точечное (дифференцированное) внесение удобрений	Экономия ресурсов и выравнивание урожайности
б) животноводство	Мониторинг проблемных животных по смарт-датчикам	Предотвращение эпидемий и сохранение надоев
в) агротехника	Предиктивный ремонт критических узлов до сезона	Исключение простоев во время жатвы или сева

Принцип Парето (80 / 20) – это универсальный фрактальный закон. Он применим практически в любой сфере, где есть ресурсы, действия и результаты.

В контексте сложных сельскохозяйственных технологических систем (СТС), представляющих собой совокупность функционально взаимосвязанных исполнителей (тракторист, комбайнёр, переборщик, водитель, диспетчер ситуационного центра и т.п.) и аграрной техники (машинно-тракторные агрегаты, комбайны, грузовые автомобили и др.), действующих в условиях непредсказуемой природной среды (погодные условия в разных климатических зонах, влажность и плотность почвы даже в пределах одного поля, засорённость, урожайность сельскохозяйственных культур и др.) [2, 4, 7], этот принцип является главным инструментом инженерного анализа, надёжности и эргономики. Применение правила 80 / 20 здесь распределяется по трём главным направлениям: 1) Надёжность техники и качество процессов; 2) Эргономика и психофизиология оператора и 3) Функционирование и автоматизация.

В любой сложной сельскохозяйственной машине (агрегате) большинство деталей почти никогда не ломаются. Однако есть «Узкие места» (подшипники, гидравлические клапаны, датчики давления, режущие элементы жатки, ремни главного привода или электроника управления гидросистемой), на которые

приходится львиная доля всех поломок, т.е. 20 % типов узлов и деталей вызывают 80 % всех простоев и поломок техники в поле. Практическая реализация принципа Парето состоит в сборе и фиксации всех отказов системы за год, а также все случаи нарушения качества процесса (огрехи, просевы, дробление зерна, повышенный расход топлива, забивание рабочих органов); выполняют ранжирование: причины сортируются по убыванию ущерба, причём каждая ошибка оценивается в деньгах или потерянных центнерах с гектара; отсекают «Жизненно важное меньшинство» путём нахождения точки, где накопленная сумма тяжести последствий достигает 80 % и строится диаграмма Парето по указанным причинам – комбинированную гистограмму, которая ранжирует проблемы от самых частых к самым редким и показывает их кумулятивный (накопленный) итог (рисунок 2).

Практика показывает, что на вершине графика всегда оказываются 2–3 главные проблемы (те самые 20%): например, износ ножей режущего аппарата и неправильный скоростной режим. Устранив только их, инженерная служба минимизирует риски в пик сезона и мгновенно поднимает общее качество процесса на 80 %.

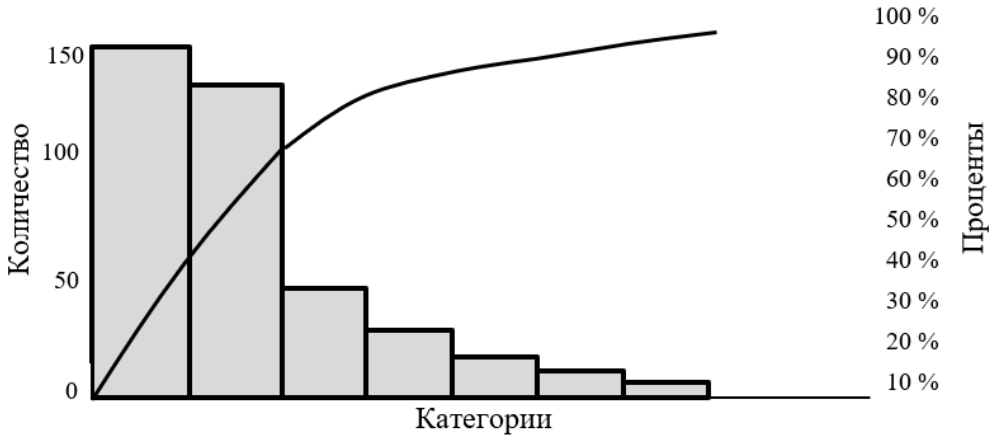


Рисунок 2 – **Пример диаграммы Парето**

По второму направлению «Эргономика и психофизиология оператора» отметим, что человек остаётся главным источником необходимых технических, технологических и управленческих решений, но и самым уязвимым элементом системы СТС. Около 80 % аварий, поломок сложной техники (например, забивание молотилки комбайна или поломка форсунок опрыскивателя) и технологического брака (пропуски при севе) происходят по вине оператора. Однако их истинной причиной являются всего 20 % системных факторов:

- Информационная перегрузка: современный комбайн выводит на мониторы десятки параметров (потери зерна, влажность, урожайность, обороты ротора, автопилот); в пиковые моменты (разворот, заезд в загонку) механизатор физически не успевает обработать этот поток данных;

- Неудобный интерфейс управления, включающий неудачное меню бортового компьютера, требующее многоуровневого переключения для критически

важной настройки (например, изменения зазора подбарабанья при резком изменении влажности почвы поля);

- Эргономика и утомляемость: в период посевной или уборочной кампании механизаторы работают по 12-14 часов, что приводит в конце смены к снижению производительности, которые вызваны недостатков эргономики кабины (вибрация и шум, запылённость, некорректная работа кондиционера, неудобное расположение ключевого джойстика или плохой обзор жатки и др.).

По аналогии с первым направлением проводится ранжирование факторов утомляемости, согласно диаграмме Парето, осуществляется оптимизация базовых условий (установка климат-контроля, автоматизация ведения трактора по *GPS*-треку, снижение вибрации сиденья и др.), что позволит убрать 80 % человеческих ошибок, повышая производительность, общую скорость и безопасность работы.

В человеко-машинных системах сельского хозяйства принцип Парето требует смещения фокуса с чисто механического совершенствования машин на упрощение взаимодействия человека с ними. Чтобы СТС работала качественно с высокими показателями, агрохолдингу не обязательно отправлять механизаторов на многомесячные курсы высшего инженерного образования. Достаточно инвестировать ресурсы в две вещи (те самые 20 %): жёсткое обучение базовым цифровым настройкам (навигации) перед сезоном и обеспечение идеального физического комфорта в кабине (тишина, прохлада, удобное кресло). Это предотвратит 80 % сбоев, вызванных человеческим фактором.

При переходе современных сельскохозяйственных систем на уровень интеллектуального управления (*smart farming*) [5, 6, 9] реализация принципа Парето состоит в решении задачи передачи рутинных 80 % операций автоматике и искусственному интеллекту, чтобы человек-оператор оставался лишь контролером верхнего уровня, концентрируясь на ключевых 20 % параметров.

При переходе к полностью беспилотным машинам (когда механизатор в кабине уступает место алгоритмам, а человек становится удалённым диспетчером / оператором флота роботов) структура сельскохозяйственной технологической системы коренным образом меняется [1, 8, 10]. Принцип Парето продолжает действовать, но фокус критических 20 % факторов полностью смещается из плоскости физиологии, эргономики кабины и индивидуальных навыков вождения в плоскость ИТ-архитектуры, качества данных и алгоритмических сценариев, таблица 2.

Таблица 1 – **Сравнение традиционной и беспилотной СТС по Парето**

Параметр	**Традиционная СТС (механизатор в кабине)**	**Беспилотная СТС (удаленный диспетчер)**
1	**2**	**3**
Критические 20 % факторов риска	Физическая усталость, невнимательность, плохая эргономика кабины, слабая квалификация конкретного водителя.	Сбои связи (5*G* / *RTK*), ошибки распознавания сенсоров (*LiDAR* / камеры), кибербезопасность, перегрузка диспетчера.

Окончание таблицы 1

1	2	3
Источник 80 простоев / брака	Ошибки ручного управления на разворотах, недосып, пропуск аварийных индикаторов на панели.	Робот встал посреди поля, приняв высокий сорняк за камень; потеря сигнала *GPS*; зависание центрального сервера.
Эффект рычага (где 20 % усилий дают 80 % результата	Комфорт в кабине, обучение базовым механическим навыкам и настройке навигатора.	Отладка алгоритмов обработки нестандартных ситуаций (*Edge Cases*), эргономика пульта диспетчера.

Если раньше эффективность системы зависела от того, насколько хорошо каждый отдельный человек управляет машиной, то теперь она зависит от того, насколько один человек способен эффективно контролировать некоторой системой машин [11, 12]. Чтобы беспилотный парк приносил прибыль, агрохолдингу больше не нужно инвестировать в физический комфорт сотен кабин. Главные 20 % усилий должны быть направлены на создание интеллектуальных алгоритмов фильтрации событий для диспетчера и обеспечение отказоустойчивости связи. Ошибки программиста или ИТ-архитектора теперь масштабируются на все 100 % техники мгновенно.

Реализация принципа Парето в сельскохозяйственных технологических системах позволяет сформулировать несколько выводов:

1. Управление эффективностью СТС сводится к управлению критическим меньшинством (20 %) параметров, переходя от тотального контроля к точечному. Инженерной и агрономической службам необходимо отказаться от валовых подходов, основные инвестиции бюджетов должны быть направлены на ключевые точки (критические узлы машинно-тракторных агрегатов и комбайнов, качество семенного фонда и др.).

2. Достижение максимального экономического эффекта при минимальных затратах возможно лишь при фокусировке 20 % главных причин брака или поломок (например, предиктивная замена изнашиваемых гидравлических гибких шлангов и подшипников до начала сезона), что позволяет ликвидировать до 80 % критических простоев техники в поле. Это сохраняет миллионы рублей чистой прибыли за счёт соблюдения жёстких агротехнических сроков.

3. Автоматизацию СТС следует осуществлять согласно правилу 80 / 20, т.е. интеллектуальные системы должны забирать на себя 80 % рутинных, фоновых процессов настройки и ведения машины по *GPS*-треку. Человеку-оператору необходимо оставить роль контролера верхнего уровня, акцентированного на 20 % параметров, определяющих конечный класс качества (например, глубина высева или уровень потерь за жаткой).

4. Оптимизация материально-технического снабжения выполняется через разделение ресурсов по принципу того, что 20 % самых ходовых деталей (категория А: фильтры, ремни, ножи) всегда присутствуют в хозяйстве на 100 %. Это страхует систему от коллапса в пик жатвы, при этом освобождая до 80 % складских площадей и финансов от неликвидных позиций.

5. Закон 80 / 20 должен работать на всех уровнях СТС: от микроуровня (микротрещина в подшипнике вала) до макроуровня (20 % высокомаржинальных культур формируют 80 % прибыли всего агрохолдинга). Любая задача (от планирования закупок до обучения персонала) должна начинаться с вопроса: «Какие 20 % действий принесут 80 % нужного результата?».

Список литературы

1. *Андриянов, Н.А.* Применение автоматизированных роботов для задач сельского хозяйства / *Н.А Андриянов* // Материалы 1-й Международной научно-практической конференции «Обеспечение продовольственной безопасности страны на основе создания программно-аппаратных комплексов и интеллектуальных платформенных цифровых решений в АПК». - Москва, 2025. - С. 165-168.

2. *Болоев, П.А.* Моделирование систем управления сельскохозяйственной техники / *П.А. Болоев, М.К. Бураев, С.С. Ямпилов, А.В Кузьмин, А.С. Пехутов, Андр.А. Абидуев, Н.И. Овчинникова* // Научно-технический журнал Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. - 2023. - № 3 (90). – С. 66-72.

3. *Калимуллина, З.А.* Правило Парето как способ оценки деятельности / *З.А. Калимуллина* // Международный научно-практический электронный журнал Аллея науки. - Москва, 2019. – Т. 4, № 1 (28). – С. 46-48.

4. *Липкович, И.Э.* Надежность человеко-машинных систем в растениеводстве / *И.Э. Липкович, М.М. Украинцев, И.В. Егорова, С.М. Пятикопов, Н. В. Петренко* // АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал. – 2023. - № 1 (55).

5. *Маслов, Н.С.* Цифровое сельское хозяйство: новые технологии для повышения эффективности и безопасности в сельском хозяйстве / *Н.С. Маслов* // Материалы XIII Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России». – Санкт-Петербург, 2023. - С. 187-189.

6. *Мещеряков, Р.В*. Перспективные направления развития человеко-машинных интерфейсов / *Р.В. Мещеряков, Я.А. Туровский* // Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2023)». – Белгород, 2023. - С. 23-29.

7. *Овчинникова, Н.И.* Аналитическое оценивание устойчивости функционирования сельскохозяйственных технологических систем / *Н.И. Овчинникова, М.А. Быкова* // Материалы XI Национальной научно-практической конференции «Актуальные вопросы инженерно-технологического обеспечения АПК» с международным участием «Чтения И.П. Терских». – Иркутск, 2024. – С. 104-108.

8. *Панин, М.Е.* Беспилотные машины для сельского хозяйства / *М.Е. Панин, Е.В. Мищенко* // Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса». – Курск, 2021. – С. 369-377.

9. *Редреев, Г.В.* Формализация МТА в системе «Человек- Машина- Среда» / *Г.В. Редреев* // Сборник материалов по итогам научно-исследовательской деятельности. Сер. "Техническая и естественнонаучная составляющие развития АПК". – Омск, 2022. – С. 732-734.

10. *Свецкий, А.В.* Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве / *А.В. Свецкий* // Научный рецензируемый журнал Сельское хозяйство. – Москва, ООО «НБ-Медиа», 2022. - № 3. – С. 1-12.

11. *Слободскова, А.А.* Имитации техногенных процессов в человеко-машинной системе / *А.А. Слободскова, Н.М. Латышенок, А.А. Пимеруков* // Материалы 75-й юбилейной международной научно-практической конференции «Научные приоритеты в АПК: вызовы современности». – Рязань, 2024. – С. 211-219.

12. *Филатов, А.А.* Проблемы цифровизации сельского хозяйства / *А.А. Филатов, И.М. Семенова* // Материалы XXI Всероссийской научно-практической интернет-конференции «Электронный бизнес: проблемы, развитие и перспективы». – Воронеж, 2024. – С. 284-286.

Сведения об авторах

Овчинникова Наталья Ивановна – доктор технических наук, профессор кафедры математики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел.: 8(3952)237431), e-mail: nata54@bk.ru.

Быкова Мария Александровна – кандидат экономических наук, доцент кафедры Математики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел.: 8(3952)237431), e-mail: krivcova_mar@mail.ru.

Information about the authors

Ovchinnikova Natalia I. – doctor of technical sciences, professor at the department of Mathematics. A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038; tel.: +7(3952)237431), e-mail: nata54@bk.ru.

Bykova Maria A. – candidate of economic sciences, associate professor at the department of Mathematics. A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038; tel.: +7(3952)237431), e-mail: krivcova_mar@mail.ru.

УДК 631.674

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АПК

В.В. Пальвинский, С.Н. Ильин, А.А. Бричагина, Ф.А. Васильев, В.Н. Серых

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы применения лазерных систем на ключевых этапах агропроизводства. Обоснованы режимы предпосевной биостимуляции семян и принципы работы роботизированных ИИ-культиваторов. Проанализирована эффективность лазерной обработки и стимуляции для интенсификации анаэробного сбраживания навоза. Описаны технологии лазерного планирования рельефа полей, сцинтиллометрии и оптико-механической перфорации гибких поливных рукавов в орошении. Обоснована эффективность поточного экспресс-контроля качества помола зерна на основе лазерной дифракции.

Ключевые слова: лазерные технологии, прецизионное земледелие, предпосевная биостимуляция, лазерная прополка, анаэробное сбраживание, шланговый дождеватель, сцинтиллометрия, качество помола.

LASER TECHNOLOGY IN AGRICULTURAL INDUSTRIES

V.V. Palvinsky, S.N. Ilyin, A.A. Brichagina, F.A. Vasiliev, V.N. Serykh

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines the prospects of using laser systems at key stages of agricultural production. It substantiates parameters for the pre-sowing biostimulation of seeds and the operating principles of AI-driven robotic cultivators. The effectiveness of laser treatment and stimulation in intensifying the anaerobic digestion of manure is analyzed. Technologies for laser-guided field leveling, scintillometry, and the optomechanical perforation of flexible irrigation hoses are described. The article also substantiates the effectiveness of in-line, rapid quality control of grain grinding based on laser diffraction.

Key words: laser technologies, precision agriculture, pre-sowing biostimulation, laser weeding, anaerobic digestion, hose-reel irrigator, scintillometry, milling quality.

Современный этап развития агропромышленного комплекса характеризуется активным переходом на рельсы точного (прецизионного) земледелия. Традиционные методы интенсификации, такие как сплошное внесение минеральных удобрений, массовая обработка полей средствами защиты растений, приводят к высокой антропогенной нагрузке на агроэкосистемы и росту себестоимости конечной продукции. Эффективной инженерной альтернативой становится внедрение оптико-электронных и лазерных комплексов в технологические процессы АПК. Развитие лазерных агротехнологий идёт на стыке биофизики, мобильной робототехники, мелиорации и практического земледелия.

Первым и наиболее технически освоенным этапом в цепочке этих технологий является воздействие на семенной материал непосредственно перед посевом [19]. Предпосевная лазерная биостимуляция является одним из наиболее технически доступных методов повышения урожайности сельскохозяйственных культур [17]. Физиологический отклик растительной клетки основан на поглощении квантов лазерного излучения внутриклеточными рецепторами-хромпротеидами (фитохромами и цитохромами). На практике наилучшие результаты показывают красный ($\lambda = 630 - 670$ нм) и ближний инфракрасный ($\lambda = 810 - 890$ нм) диапазоны спектра [26].

При облучении семян активизируются внутриклеточные гидролитические ферменты (амилаза, каталаза), ускоряется распад запасных питательных веществ эндосперма и интенсифицируется синтез АТФ в митохондриях. На уровне поля это обеспечивает повышение лабораторной и полевой всхожести семян на 10-15 %, синхронизацию всходов, а также ускоренное развитие корневой системы [26].

Экспериментально установленные режимы фотоактивации семенного материала представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что наиболее изученными являются режимы облучения в красном спектре (632,8-655 нм). Точно выверенная доза 0,42 Дж/см^2 для пшеницы гарантирует прибавку всхожести. При расчёте режимов для других культур следует опираться на доказанные временные интервалы экспозиции (60-300 с), которые активируют ферменты клеток, но исключают риск перегрева и повреждения зародыша.

Внедрение лазерных систем не ограничивается предпосевной стадией и продолжается на этапе ухода за вегетирующими растениями, а также при переработке отходов. В области механизации ухода за посевами ключевым трендом является создание автономных полевых платформ для борьбы с сорной

растительностью. Структурная схема лазерного культиватора включает в себя блок сенсоров, таких как *RGB*-камеры и *LiDAR*, вычислительный модуль с нейросетевыми алгоритмами распознавания и исполнительный орган, включающий в себя гальванометрический сканер и лазер [2].

Таблица 1 – **Влияние режимов лазерного облучения на агробиологические показатели культур**

Сельскохозяйственная культура	**Длина волны, нм**	**Плотность мощности, мВт/см²**	**Время экспозиции, с**	**Плотность энергии (доза), Дж/см²**	**Агрономический эффект**	**Источник**
Яровая пшеница	655	6,0	70	0,42	Повышение лабораторной всхожести на 15 %, синхронизация прорастания, активация фоторецепторов хлорофилла	[16]
Ячмень	632,8	–	30 – 90	–	Повышение энергии прорастания и полевой всхожести, интенсивная стимуляция кущения	[26]
Сахарная свекла	632,8	–	60 – 300	–	Увеличение массы корнеплода, рост итоговой сахаристости на 0,6-0,8 %	[22, 23]
Томат	650	–	–	–	Ускорение созревания плодов, рост урожайности, особенно у раннеспелых сортов	[10, 13]
Огурец	632,8 – 650	–	180 – 300	–	Ускорение темпов прохождения фенофаз (завязывание на 5-7 дней раньше), снижение поражаемости гнилями	[7]
Кукуруза (на силос)	632,8 – 850	–	–	–	Интенсификация набора зеленой биомассы на начальном этапе онтогенеза	[25]



а) б)

а) Общий вид культиватора; б) Работа в поле.

Рисунок 1 – **Интеллектуальный навесной лазерный культиватор *Carbon Robotics™ LaserWeeder™ G2* 600**

В качестве рабочего органа используются газовые CO^2 или полупроводниковые диодные лазеры мощностью от 150 до 500 Вт. Видеокамера сканирует ряды, а алгоритм компьютерного зрения за доли секунды разделяет культурные растения и сорняки, направляя сфокусированный луч лазера на точку роста сорного растения. Высокая температура вызывает мгновенный тепловой шок и коагуляцию белка.

Одним из наиболее эффективных коммерческих примеров такой техники является прицепной интеллектуальный культиватор *Carbon Robotics LaserWeeder G*2 600 (рисунок 1), имеющий ширину захвата 6 метров и оборудованный мощными CO^2 лазерами. Аппарат способен уничтожать до 200 тысяч сорняков в час. При средней и высокой степени засоренности поля, около 20-30 сорных растений на квадратный метр, реальная производительность агрегата составит от 0,6 до 1,0 га/час. Таким образом, за стандартную 10-часовую смену лазерный робот позволит полностью очистить от сорняков до 6-10 гектаров высокомаржинальных пропашных культур.

Помимо представленной модели имеются и другие модификации. Линейка навесных комплексов включает четыре машины, оптимизированные под различные задачи. Флагманом серии выступает широкозахватная модель *LaserWeeder G*2 1200 с рабочей зоной 12,2 м и конструкционной массой 5 443 кг, способная обрабатывать до 2,4 га/ч посевов зерновых культур, сои и кукурузы.

Важным вектором модернизации животноводческих комплексов является повышение эффективности биогазовых станций, перерабатывающих навоз крупного рогатого скота (КРС) и свиней и помёт птицы [14, 18]. Применение лазерных технологий в биоэнергетике АПК может решить проблему длительного гидролиза растительных волокон за счёт процессов фотобиостимуляции микробных консорциумов и лазерного дезинтегрирования субстрата [5].

На этапе предварительной подготовки субстрата лазерное излучение применяется для разрушения прочных лигноцеллюлозных комплексов, которые в обилии содержатся в навозе крупного рогатого скота, особенно при использовании соломенной подстилки. Для этих целей используются высокоинтенсивные импульсные лазеры, например твёрдотельные *Nd*: *YAG* системы. Короткие лазерные импульсы высокой энергии, направленные в жидкую среду навозных стоков, вызывают явление локального гидродинамического удара и микрокавитации. Эти физические микровзрывы разрушают жёсткие клеточные стенки растительных остатков на микроуровне, увеличивая удельную площадь контакта сырья с ферментами [6]. В результате сложные полимерные соединения переходят в легкодоступные простые сахара, что существенно ускоряет стадию гидролиза, которая традиционно считается самым узким местом всего анаэробного процесса [18, 24].

Экспериментальные исследования показывают, что кратковременное облучение жидкого инокулята или непосредственно среды внутри метантенка зелёным лазером с длиной волны 532 нм или красным лазером в диапазоне 650-660 нм активирует дыхательные ферменты бактерий. Внутриклеточные хромофоры поглощают кванты лазерного света, что стимулирует электрон-

транспортные цепи и ускоряет метаболизм архей. В практическом выражении это позволяет сократить период выхода реактора на пиковую мощность, увеличить удельный выход биогаза на 20-30 процентов и повысить концентрацию чистого метана в финальной газовой смеси до 63 процентов и более за счёт снижения доли балластного углекислого газа. При этом метод полностью экологичен, так как не требует введения в биореактор сторонних химических реагентов [3].

Эффективное управление водными ресурсами в агропромышленном комплексе требует внедрения технологий, минимизирующих непроизводительные потери воды и предотвращающих биологическое загрязнение распределительных сетей. Одним из наиболее перспективных направлений модернизации гидротехнических систем АПК является интеграция лазерного оборудования на этапах планирования орошаемых ландшафтов, безреагентного обеззараживания водных сред, контроля параметров испарения и фотобиомодуляции поливной воды. Комплексное применение лазерных технологий в мелиоративном секторе позволяет одновременно повысить эффективность орошения и снизить пестицидную нагрузку на агроэкосистемы за счёт подавления патогенной микрофлоры [1].

Важнейшим компонентом точечного земледелия и прецизионного орошения выступает лазерное планирование рельефа полей перед организацией поверхностного полива. Использование автоматизированных длиннобазовых планировщиков, управляемых лазерными нивелирами и геодезическими излучателями, обеспечивает выравнивание микрорельефа чеков и пашни с точностью до 3 сантиметров. Устранение высотных неровностей гарантирует строго равномерное распределение влаги в корнеобитаемом слое почвы по всей площади участка, исключая образование застойных зон и сухих пятен. В практическом выражении это позволяет сократить общие оросительные нормы на 15-20 %, снизить потери воды на фильтрацию и испарение на 25-30 процентов, а также увеличить полезную площадь орошения за счёт ликвидации лишних распределительных валиков и каналов [1]. Внедрение лазерных технологий также трансформирует производство элементов поливной инфраструктуры посредством оптико-механической перфорации. Лазерные станки с ЧПУ выжигают в полимерных лентах капельного орошения эмиттерные отверстия микронного диаметра. Качественное оплавление краёв полностью исключает появление заусенцев, существенно снижает забивание капельниц солевым осадком и обеспечивает стабильную работу распределительной сети при ультранизком рабочем давлении в диапазоне от 0,15 до 0,20 бар [9]. На инженерном факультете Иркутского ГАУ разрабатывается технология применения лазера для изготовления отверстий в композитном пожарном рукаве с толщиной стенки 1,2 мм. Такой рукав будет востребован при реализации ресурсосберегающей технологии полива и орошения сельскохозяйственных культур [21]. Особая форма отверстий и их распределение по всей длине дождевателя позволить сократить энергетические затраты, повысить производительность, обеспечивая, при этом, бережное орошение без риска вымывания семян и размывания гребней [20].

Для оперативной корректировки норм полива в режиме реального времени на масштабных площадях применяется метод лазерной сцинтиллометрии. Специализированные лазерные сцинтиллометры направляют инфракрасный лазерный луч через орошаемый массив на расстояние до 2 километров, фиксируя интенсивность мерцания и флуктуаций светового потока. Это позволяет мгновенно рассчитывать уровень фактической эвапотранспирации над посевами, передавая данные на дождевальные машины для автоматической регулировки поливной нормы с точностью до миллиметра. Одновременно с этим автоматизированный контроль водоподачи реализуется через бесконтактную диспетчеризацию открытых мелиоративных систем. Высокоточные лазерные бесконтактные дальномеры, монтируемые над зеркалом воды открытых каналов, непрерывно замеряют уровень воды с погрешностью не более 1-2 мм, что позволяет оперативно управлять регулирующими шлюзами через общую автоматизированную систему управления мелиорацией [11].

Параллельно лазерные системы находят применение в процессах дезинфекции поливной воды и предотвращения биообрастания технологических элементов систем капельного полива. Внутренние поверхности капельниц и гибких трубопроводов подвержены интенсивному зарастанию бактериальными плёнками, водорослями и грибковыми консорциумами, что нарушает равномерность подачи питательных растворов. Направленное ультрафиолетовое лазерное излучение, а также импульсное воздействие диодных лазеров видимого спектра эффективно разрушают структуру нуклеиновых кислот микроорганизмов, вирусов и грибов без изменения химического и теплового баланса жидкой среды. Для бесконтактного контроля микозов и бактериозов в гидропонных системах и накопительных резервуарах применяются полупроводниковые лазерные излучатели с длинами волн от 450 до 655 нм. Оптимальная экспозиция потока в течение 3-6 минут при плотности мощности излучения 1,3 мВт/см^2 обеспечивает глубокое подавление жизнедеятельности фитопатогенов, продлевая эксплуатационный ресурс капельных сетей и исключая необходимость их циклической промывки токсичными хлорсодержащими соединениями или кислотами [9].

Значительный научно-практический эффект лазерные технологии демонстрируют на этапе контроля качества готового помола и оценки фракционного состава измельчённых кормов. Традиционный ситовой метод требует значительных временных затрат и не позволяет оперативно управлять технологическим процессом в потоке [12, 15]. В качестве альтернативы на современных комбикормовых заводах применяются поточные экспресс-анализаторы, работающие на принципе лазерной дифракции [8]. Прибор направляет лазерный луч через взвесь частиц измельченного зерна в воздушном или жидкостном потоке, а многоэлементный фотодиодный детектор фиксирует угловое распределение интенсивности рассеянного света [4, 8]. На основе теории светорассеяния Ми или приближения Фраунгофера бортовой компьютер за несколько секунд рассчитывает полную кривую распределения частиц по размерам в диапазоне от 0,1 мкм до 4 мм, мгновенно определяя средний диаметр фракции, а также долю нежелательной пылевидной фракции или недомолотых крупных зёрен [8]. Интеграция таких

лазерных анализаторов в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) позволяет в режиме реального времени корректировать зазор между вальцами или изменять скорость подачи зерна в дробилку, обеспечивая выпуск комбикормов со строго заданными зоотехническими параметрами крупности для различных половозрастных групп животных и птицы [4].

Проведённый анализ подтверждает, что лазерные технологии открывают качественно новые возможности для развития современного сельского хозяйства. Их успешное применение в растениеводстве, мелиорации, биоэнергетике и кормопроизводстве доказывает, что точечное световое воздействие гораздо эффективнее и экологичнее традиционных механических или химических методов обработки. Главная ценность лазерных систем заключается в возможности их полной автоматизации. Интеграция лазеров с искусственным интеллектом и бортовыми компьютерами позволяет технике самостоятельно распознавать и уничтожать сорняки, бесконтактно управлять поливом и в реальном времени контролировать качество измельчения кормов. Использование технологий лазерной перфорации при создании гибких поливных рукавов подтверждает высокую практическую значимость таких решений для ресурсосберегающего и бережного земледелия. Внедрение лазерного оборудования открывает перед агропромышленным комплексом принципиально новые возможности. Переход на умную лазерную технику позволяет агропредприятиям кардинально снизить энергозатраты, исключить вредное влияние на окружающую среду и добиться максимальной продуктивности на каждом этапе производства.

Список литературы

1. A review of global precision land-leveling technologies and implements for sustainable agriculture // Computers and Electronics in Agriculture (Elsevier). – 2024. – Vol. 219. – Art. 108745.

2. Carbon Robotics : Leader in Physical AI for Agriculture : официальный сайт. – Seattle, 2018-2026. – URL: https://carbonrobotics.com/ (дата обращения: 20.09.2026). – Текст : электронный.

3. Effects of Laser Irradiation and Ni Nanoparticles on Biogas Production from Anaerobic Digestion of Slurry / *E.M. Abdelsalam, M. Samer, Y.A. Attia* [et al.] // Waste and Biomass Valorization. – 2019. – Vol. 10, no. 12. – P. 3649-3658. – DOI: 10.1007/s12649-018-0374-y.

4. Features of grinding and mixing feed components in hammer mill // Engineering for Rural Development. – 2025. – Vol. 24. – P. 712-719. – DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF01.

5. Influence of laser irradiation on rumen fluid for biogas production from dairy manure / *E.M. Abdelsalam, M. Samer* [et al.] // Energy (Elsevier). – 2018. – Vol. 165. – P. 312-320.

6. *Jassim, A.H.* Laser Improves Biogas Production by Anaerobic Digestion of Cow Dung / *A.H. Jassim* // Baghdad Science Journal. – 2018. – Vol. 15, No. 3. – P. 253-258. – DOI: 10.21123/bsj.2018.15.3.0253.

7. *Klimek-Kopyra, A.* The use of laser biotechnology in agri-environment as a significant agronomical advance increasing crop yield and quality / *A. Klimek-Kopyra, J.W. Dobrowolski* // Environmental and Experimental Botany (Elsevier). – 2021. – Vol. 189. – Art. 104541.

8. Laser Diffraction Particle Size Analysis : Malvern Panalytical Tech Guide : официальный сайт. – Malvern, 2024. – URL: malvernpanalytical.com (дата обращения: 20.09.2026). – Режим доступа: свободный. – Текст : электронный.

9. Laser technologies in agri-food systems: Enhancing efficiency, sustainability, and quality / *S. Ali, R. Ahmed, M. Khan* [et al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2026. – Vol. 148. – Art. 104382. – DOI: 10.1016/j.tifs.2026.104382.

10. Laser-induced biostimulation of zea mays: Growth dynamics and physiological responses under controlled stress environments / *A. Al-Muaini* [et al.] // Agronomy (MDPI). – 2023. – Vol. 13, No. 8. – P. 2014-2028.

11. Sustainable laser technology for the control of organisms and microorganisms in agri-food systems / *A. Krawczuk, M. Lipiński, J. Nowak* [et al.] // International Agrophysics. – 2024. – Vol. 38, no. 1. – P. 15-23. – DOI: 10.31545/intagr/177513.

12. *Абросимов, А.В.* Гранулометрический состав зерновой дерти, полученной после измельчения на дробилке ИЗ-0,5М / *А.В. Абросимов, В.В. Пальвинский* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы всероссийсской научно-практической конференции, Иркутск, 14-15 марта 2019 года. Том II. – Иркутск : Иркутский ГАУ, 2019. – С. 220-230. – EDN CHUKXM.

13. *Баранова, Е.В.* Влияние обработки физическими методами на посевные качества семян и урожай томатов различной скороспелости / *ЕВ. Баранова, М. В. Сухомирова* // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 12. – С. 144-149.

14. Внешняя среда системы хранения, подготовки и применения анаэробно сброженных органических удобрений / *А.А. Бричагина, С.Н. Ильин, В.В. Пальвинский, В.К. Евтеев* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы IX международной научно-практической конференции, Иркутск, 21-22 мая 2020 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2020. – С. 283-289. – EDN DXEIBY.

15. *Гайнудинова, В.В.* Оценка гранулометрического состава комбикормов для птицы произведенных в Иркутской области / *ВВ. Гайнудинова, Д. И. Озолина, Н.Л. Посельская* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 26–27 ноября 2019 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. – С. 23-24. – EDN TGQLNM.

16. *Дудин, Г.П.* Влияние лазерного излучения на семена ячменя сорта Родник Прикамья / *Г.П. Дудин, Н.А. Жилин, С.С. Гребнева* // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 2. – С. 14-17.

17. Метод лазерной обработки семян: как повысить урожайность на 30 % // Электронный ресурс «Своё Фермерство» АО Россельхозбанк : [официальный сайт]. – 2024. – URL: svoefermerstvo.ru (дата обращения: 20.09.2026). – Режим доступа: свободный. – Текст : электронный.

18. *Пальвинский, В.В.* Методы обработки органосодержащего сырья перед анаэробным сбраживанием / *В.В. Пальвинский, Ф. А. Васильев, В.К. Евтеев* // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 10-27. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202201.010-027. – EDN WOXOTJ.

19. *Пальвинский, В.В.* Особенности функционирования поточно-технологической линии очистки семян в УНПУ "ОЁКСКИЙ" / *В.В. Пальвинский, С.Н. Ильин, Ф.А. Васильев* // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : Материалы всероссийской студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 17–18 марта 2022 года. – Молодежный : Иркутский ГАУ, 2022. – С. 430-437. – EDN RXHYJN.

20. *Петрова, П.Д.* Пути снижения энергетических затрат при орошении сельскохозяйственных культур / *П.Д. Петрова* // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области : Материалы очно-заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки, Иркутск, 06-07 февраля 2025 года. – Иркутск : Иркутский ГАУ, 2025. – С. 357-358. – EDN QVCEZI.

21. *Петрова, П.Д.* Существующие способы и приемы полива и орошения / *П.Д. Петрова, В.В. Пальвинский, В.Н. Хабардин* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК : Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Энергетического факультета Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 12 декабря 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский ГАУ, 2024. – С. 99-100. – EDN FDJQSJ.

22. *Подвигина, О.А.* Влияние лазерного облучения на посевные качества и инфицированность семян сахарной свеклы / *О. А. Подвигина, ОИ. Стогниенко, Е. С. Стогниенко* // Аграрная наука. – 2019. – № 2. – С. 62-64.

23. *Подвигина, О.А.* Влияние лазерного облучения семян сахарной свеклы на продуктивность, технологическое качество и сохранность корнеплодов / *О.А. Подвигина, Л.Н. Путилина, Н.А. Лазутина* // Сахарная свекла. – 2022. – № 4. – С. 26-39.

24. Подготовка органосодержащего сырья к анаэробному сбраживанию / В. К. Евтеев, В. В. Пальвинский, С. Н. Ильин, Ф. А. Васильев // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И. П. Терских», посвященной 85-летию Иркутского ГАУ, Иркутск, 26-27 сентября 2019 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. – С. 109-116. – EDN SWYPXH.

25. Практика применения лазерных агротехнологий на Кубани // Фотоника (Photonics Russia). – 2013. – № 2 (38). – С. 84-91.

26. *Юран, С.И.* Устройство лазерной предпосевной обработки семян / *С.И. Юран, М.Р. Зарипов, М.Н. Вершинин* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (95). – С. 131-134.

Сведения об авторах

Пальвинский Виктор Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 89025449794, e-mail: kvenbox@mail.ru).

Ильин Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел. 83952237429, e-mail: mech@igsha.ru).

Бричагина Анастасия Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел. 83952237429, e-mail: mech@igsha.ru).

Васильев Филипп Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК» инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89246215515 e-mail: fvasiljiev@yandex.ru).

Серых Владимир Николаевич – студент второго курса инженерного факультета Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т. +89526312201, e-mail: skorpion.vladislav@yandex.ru).

Information about authors

Palvinsky Viktor V. – candidate of technical sciences, ass. prof. of the department of technical of the engineering faculty, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89025449794, e-mail:kvenbox@mail.ru).

Ilyin Sergey N. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of technical support of agriculture, faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel. 83952237429, e-mail: mech@igsha.ru).

Brichagina Anastasia A. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of technical support of agriculture, faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university named after A. A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel. 83952237429, e-mail: mech@igsha.ru).

Vasilyev Filipp A. – candidate of technical sciences, associate professor of the department "technical support of agroindustrial complex" of the faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university named after A. A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89246215515 e-mail: fvasiljiev@yandex.ru).
Serykh Vladimir N. – second-year student, Faculty of Engineering, Irkutsk State Agrarian University (Molodezhny settlement, Irkutsky district, Irkutsk Region, 664038, Russia; tel.: +89526312201; e-mail: skorpion.vladislav@yandex.ru).

УДК 631.674

ОССОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ *IRRITECH* 8120

В.В. Пальвинский, В.Н. Хабардин, П.Д. Петрова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Для перемещения современных многоопорных широкозахватных машин фронтального и кругового действия широко используется электрический привод. В конце трубопровода дождевальных машин кругового действия для повышения давления так же используются электроприводные центробежные насосы. Сочетание высокой влажности и электричества представляет собой зону повышенной опасности для обслуживающего персонала. В работе рассмотрены требования безопасности при работе с дождевальными машинами кругового действия.

Ключевые слова: Дождевальная машина, дождевание, орошение, автоматический полив, внесение жидких удобрений.

OPERATIONAL FEATURES OF THE IRRITECH 8120 CENTER PIVOT IRRIGATION MACHINE

V.V. Palvinsky, V.N. Khabardin, P.D. Petrova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. Electric drives are widely used to move modern multi-support, wide-coverage frontal and pivot irrigation machines. At the end of the pipeline, pivot irrigation machines also use electric centrifugal pumps to increase pressure. The combination of high humidity and electricity poses a high-risk environment for maintenance personnel. This paper examines safety requirements for operating pivot irrigation machines.

Key words: Sprinkler machine, sprinkling, irrigation, automatic watering, application of liquid fertilizers.

Для орошения сельскохозяйственных культур дождеванием широко применяются дождевальные машины фронтального и кругового действия, а также шлангобарабанные машины [17]. К отечественным производителям относятся широкозахватные установки «Фрегат», «Кубань», «Аквафилд», «Каскад» и

шлангобарабанные машины «ЗДМ», «Ирривол». Производство перечисленных машин расположено в Волгоградской, Тульской, Саратовской и Самарской областях [13].

К популярным иностранным брендам можно отнести установки компаний «*Reinke*» (США), «*Valley*» (США), *Otech* (Франция), «*Bauer*» (Австрия), «*Chamsa*» (Испания), «*Western*» (Саудовская Аравия), «*Pierce*» (США), «*RKD*» (Испания), «*Zimmatic*» (США) и др [11].

В настоящий момент российские аграрии стали всё больше обращать внимание на модели китайских производителей. К таковым относится дождевальная машина кругового действия Irritech 8120. Производителем является компания *Anhui Irritech Agriculture Equipment Co*., *Ltd*. (Аньхой, Китай) [1].

Орошение позволяет снизить риски аграриев от засухи. Получать более высокие урожаи. Увеличить товарность производимой продукции в том числе семенного материала [15, 22]. Производить более качественные корма [20, 21].

Ежегодно студенты инженерного факультета проходят производственную практику на действующих предприятиях АПК Иркутской области. Знание требований безопасности при работе с различными машинами и механизмами позволяют более осознано походить к работе, качественнее усваивать информацию во время проведения инструктажей на рабочем месте [3, 4, 6, 12, 14, 21, 22].

Цель данной работы – описать частные требования безопасности при работе с дождевальными машинами кругового действия на примере модели *Irritech* 8120.

Дождевальная машина кругового действия *Irritech* 8120 предназначена для автоматизированного полива сельскохозяйственных культур при движении поливного трубопровода вокруг неподвижной опоры с возможность внесения жидких удобрений и средств защиты растений вместе с поливной водой (при наличии дополнительного оборудования для ввода компонентов в поливную воду). Подвод поливной воды осуществляется из скважины или открытого источника (рисунок 1) [1, 16]. После удаления крупных включений возможно использование анаэробносброженных органосодержащих отходов [9, 10, 18]. Для повышение энергетической эффективности при подаче воды возможно применение водоподъёмников с приводом от возобновляемых источников энергии или использовать дождевальные машины, работающие при низком давлении [2, 7, 8, 16, 19].

Поливаемый участок представляет собой круг или сектор. Машина является самоходной, оснащена электроприводом, поэтому предъявляются особые требования безопасности по предотвращению поражения персонала электрическим током.

Во время грозы нельзя находиться рядом с установкой, так как она является хорошим проводником тока и, вероятно, окажется самой высокой точкой в поле, в которую может ударить молния.

Запрещается обслуживать машину во время работы, несмотря на низкую скорость перемещения. Перед техническим обслуживанием необходимо остановить машину и отключить электропитание [1, 4].

При работе с химическими веществами рекомендуется использовать защитную одежду, защитные очки и перчатки.

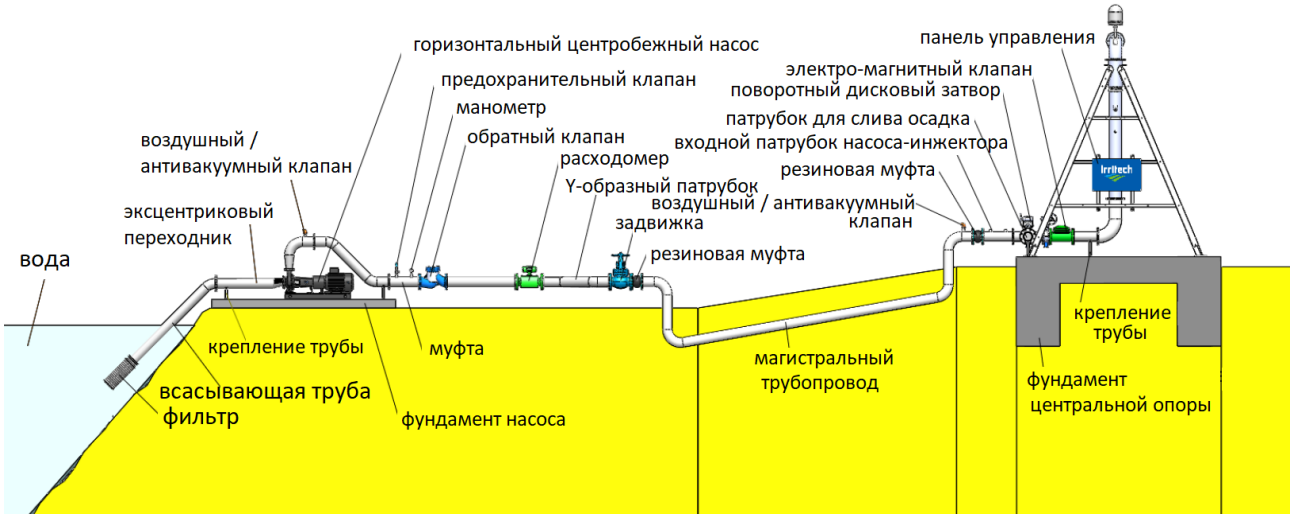


Рисунок 1 – **Схема подвода воды к центральной опоре от открытого источника**

На элементах конструкции дождевальной машины можно встретить следующие обозначения:



а) б) в) г)

а – Зона повышенной опасности, в местах установки необходимо быть осторожным, так как есть риск получения травмы; б – Имеется риск поражения электрическим током; в – Обозначает трубы под давлением, не следует ослаблять зажимы и размыкать соединения, не убедившись, что высокое давление отсутствует; г – Перед использованием узла, детали, устройства необходимо внимательно изучить руководство по эксплуатации.

Рисунок 2 – **Предупреждающе обозначения**

Используемая для орошения вода не должна попадать на электрические провода и любые источники электроэнергии. Нельзя допускать, чтобы центральная опора или трубы установки касались каких-либо источников электроэнергии.

Сочетание высокой влажности и электричества представляет собой зону повышенной опасности для обслуживающего персонала [1].

Рекомендуемая для работы машины температура окружающей среды составляет не ниже 4-5° С. При эксплуатации в диапазоне температур ниже рекомендуемого за счёт охлаждающего эффекта при испарении воды возможно снижение температуры приземного слоя и замерзание воды.

Следует избегать контакта со струями воды под большим давлением [5]. Такой контакт возможен при нахождении в конце трубопровода, где может быть установлен концевой водомёт.

Перед проведением любых работ по обслуживанию машины необходимо всегда отключать электрическое питание. При проведении техобслуживания машины, необходимо отключить и заблокировать возможность обратного включения. Кроме того, нужно всегда отключать систему от сети [1]. При проведении техобслуживания установки, запрещается поручать посторонним лицам отключать питание, делать это необходимо лицам, имеющим соответствующие допуски и исключать свободный доступ к ключу от распределительного шкафа установки (рисунок 3).



Рисунок 3 – **Общий вид щита управления**

После завершения поливного сезона необходимо установить систему в направлении преобладающих зимних ветров. Это снизит силу воздействия ветра на машину (рисунок 4).

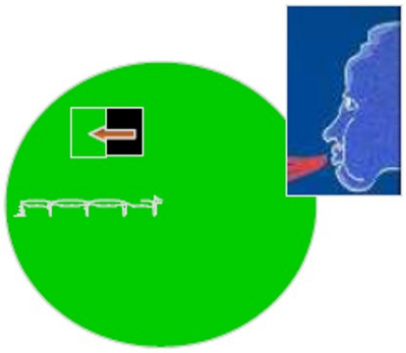


Рисунок 4 – **Схема правильного расположения поливного трубопровода после окончания полива**

Следует обязательно заземлять ирригационные системы с электрическим приводом. Правильное заземление решает несколько задач: защищает персонал от поражения электрическим током, защищает оборудование, обеспечивает удаления заряда с оборудования.

Неправильно заземлённое оборудование создаёт опасность для жизни людей и оборудования [1]. При проектировании и установке насосов с электроприводом, дождевальных установок и других вспомогательных систем с электрическим питанием вопросы заземления очень важны.

При правильном заземлении дождевальной установки и использовании надлежащих плавких предохранителей вероятность поражения электрическим

током крайне мала. Однако, при возникновении в системе короткого замыкания ситуация может быть опасной.

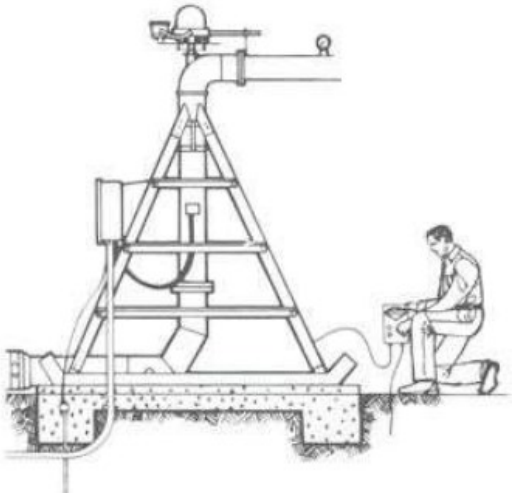


Рисунок 5 – **Заземление центральной опоры**

Для проверки, нет ли в системе опасного напряжения, необходимо использовать вольтметр. Далее следует приложить один щуп вольтметра к металлической части системы, а другой – к почве (рисунок 5).

Если вольтметр показывает наличие напряжения, нельзя прикасается к системе. Необходимо убедится, что питание отключено. Так же, следует использовать вольтметр, прежде чем прикоснуться рукой до рукоятки отключения питания, убедившись в отсутствии напряжения, необходимо отключить питание и обратится в сервисную службу. При возможности, необходимо заблокировать рукоятку в положении «Выкл.», чтобы никто не мог включить питание, пока неисправность не устранена.

Перед допуском штатных работников и студентов во время производственной практики для работы с дождевальными машинами обязательно проведение первичного инструктажа на рабочем месте с разъяснением безопасных методов работы [6].

Таким образом выполнение всех требований безопасной эксплуатации дождевальной машины кругового действия будет способствовать минимизации рисков возникновения несчастных случаев с причинением вреда здоровью обслуживающего персонала и будет способствовать более длительной эксплуатации оборудования.

Список литературы

1. Center Pivot / Irritech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.irritechglobal.com/.

2. *Vasilev, F.* Increasing the efficiency of biogas production from organic waste / *F. Vasilev, V. Palvinskiy, M. Takhanov* // Baikal Letter DAAD. – 2019. – No. 1. – P. 49-51. – EDN QTGQUI.

3. *Абросимов, А.В.* Энергетическая эффективность измельчителя ИЗ-0,5М / *А.В. Абросимов* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 26-27 ноября 2019 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. – С. 21-22. – EDN HQWJJM.

4. *Белявский, А.В.* Пододвигатель кормов для ферм КРС / *А.В. Белявский* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, п. Молодежный, 13-14 октября 2022 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2022. – С. 5-6. – EDN QXOVNQ.

5. *Бричагина, А.А.* Модель взаимодействия струи жидкости с почвой / *А.А. Бричагина, В.К. Евтеев, С.Н. Ильин* // Вестник ИрГСХА. – 2016. – № 76. – С. 153-160. – EDN WZZJDZ.

6. *Бричагина, А.А.* Оценка удовлетворённости студентов Иркутского ГАУ производственной практикой / *А.А. Бричагина, С.Н. Ильин, В.В. Пальвинский* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06-08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 316-322. – EDN SQAUOH.

7. *Брохоцкая, Е.М.* Водоподъемники с приводом от возобновляемых источников энергии / *Е.М. Брохоцкая, В.В. Пальвинский, С.Н. Ильин* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 04-05 марта 2021 года. Том III. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 11-19. – EDN PERLSD.

8. *Брохоцкая, Е.М.* Демонстрационная модель гидравлического тарана / *Е.М. Брохоцкая* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, п. Молодежный, 13-14 октября 2022 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 7-8. – EDN RJWHCK.

9. *Васильев, Ф.А.* Сравнительные исследования влияния применения эффлюента на всхожесть ячменя / *Ф.А. Васильев, В.К. Евтеев, В.В. Пальвинский* // Дальневосточный аграрный вестник. – 2021. – № 4 (60). – С. 23-31. – DOI 10.24412/1999-6837-2021-4-23-31. – EDN FGLAKU.

10. Внешняя среда системы хранения, подготовки и применения анаэробно сброженных органических удобрений / *А.А. Бричагина, С.Н. Ильин, В.В. Пальвинский, В.К. Евтеев* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы IX международной научно-практической конференции, Иркутск, 21-22 мая 2020 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2020. – С. 283-289. – EDN DXEIBY.

11. *Воронов, О.В.* Дождевальная техника и технологии дождевания / *О.В. Воронов, Г.М. Сукало, В.Н. Шкура.* – Новочеркасск : ООО "Лик", 2016. – 372 с. – EDN WNESTX.

12. *Гайнудинова, В.В.* Оценка гранулометрического состава комбикормов для птицы произведенных в Иркутской области / *В.В. Гайнудинова, Д.И. Озолина, Н.Л. Посельская* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 26-27 ноября 2019 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. – С. 23-24. – EDN TGQLNM.

13. Дождевальные машины: подборка отечественных производителей / DIRECT.FARM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://direct.farm/post/dozhdevalnyye-mashiny-podborka-otechestvennykh-proizvoditeley-16663.

14. *Зуев, В.И.* Модернизация измельчителя зерна "Кубанец" 1000/2 / *В.И. Зуев* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, п. Молодежный, 13-14 октября 2022 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 9-10. – EDN QSCQFD.

15. *Пальвинский, В.В.* Особенности функционирования поточно-технологической линии очистки семян в УНПУ "ОЁКСКИЙ" / *В.В. Пальвинский, С.Н. Ильин, Ф.А. Васильев* // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : Материалы всероссийской

студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 17-18 марта 2022 года. – Молодежный : Иркутский ГАУ, 2022. – С. 430-437. – EDN RXHYJN.

16. *Петрова, П.Д.* Пути снижения энергетических затрат при орошении сельскохозяйственных культур / *П.Д. Петрова* // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области : Материалы очно-заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки, Иркутск, 06-07 февраля 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 357-358. – EDN QVCEZI.

17. *Петрова, П.Д.* Существующие способы и приемы полива и орошения / *П.Д. Петрова, В.В. Пальвинский, В.Н. Хабардин* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК : Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Энергетического факультета Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 12 декабря 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский ГАУ, 2024. – С. 99-100. – EDN FDJQSJ.

18. Подготовка органосодержащего сырья к анаэробному сбраживанию / *В.К. Евтеев, В.В. Пальвинский, С.Н. Ильин, Ф.А. Васильев* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И. П. Терских», посвященной 85-летию Иркутского ГАУ, Иркутск, 26-27 сентября 2019 года. – Иркутск : Иркутский ГАУ, 2019. – С. 109-116. – EDN SWYPXH.

19. *Рык, М.М.* Гидравлический двигатель-насос для водоснабжения ферм крупного рогатого скота / *М.М. Рык, В.В. Пальвинский, С.Н. Ильин* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 04-05 марта 2021 года. Том III. – Молодежный : Иркутский ГАУ, 2021. – С. 92-98. – EDN UEMGNO.

20. *Чебаков, Р.А.* Качественные показатели работы мобильных кормораздатчиков / *Р.А. Чебаков, А.А. Евтющенко* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 26-27 ноября 2019 года. – Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. – С. 36-37. – EDN LJKBEE.

21. *Шодоров, А.П.* Особенности работы линии измельчения зерна в УНПУ "Оёкский" / *А.П. Шодоров* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, п. Молодежный, 12-13 октября 2023 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 547-548. – EDN ARIKRD.

22. *Шодоров, А.П.* Совершенствование линии очистки семян в УНПУ "Оёкский" / *А.П. Шодоров* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, п. Молодежный, 12-13 октября 2023 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 549-550. – EDN LGLUMK.

Сведения об авторах

Пальвинский Виктор Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89025449794, e-mail: kvenbox@mail.ru).

Хабардин Василий Николаевич – заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения инженерного факультета Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел.: 89500809286, e-mail: HabardinV@mail.ru).

Петрова Полина Дмитриевна – магистрант второго курса инженерного факультета Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т. +79526272928, e-mail: polina.petrova03@yandex.ru).

Information about authors

Palvinsky Viktor V. – candidate of technical sciences, ass. prof. of the department of technical of the engineering faculty, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89025449794, e-mail:kvenbox@mail.ru).
Habardin Vasilij N. – honored inventor of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor of Chair of Operation of Machine and Tractor Park and Health and Safety of Engineering Faculty. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89500809286, e-mail: HabardinV@mail.ru).
Petrova Polina D – second-year master's student at the faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russia; tel.: +7 9526272928; e-mail: polina.petrova03@yandex.ru).

УДК 662.767.2

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В МАЛОГАБАРИТНЫХ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ

И.С. Потапов

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Якутск, республика Саха (Якутия), Россия

Аннотация. В статье рассматриваются различные конструктивные особенности механических перемешивающих устройств в малых биогазовых установках с целью повышения эффективности анаэробного сбраживания. Проведён сравнительный анализ существующих типов, перемешивающих устройств, а также систематизированы преимущества и недостатки применительно к малым метантенкам. С учётом перспективы и потенциала применения механического перемешивающего устройства в метантенках малого объёма определены конструктивные параметры, которые способны обеспечить гомогенизацию при минимальных энергозатратах и низком механическом стрессе для микробных сообществ.

Ключевые слова: биогазовая установка малого объёма, конструктивные параметры, анаэробное сбраживание, метантенк, перемешивание субстрата, органическая нагрузка, гидравлическое время пребывания.

SUBSTANTIATION OF THE DESIGN PARAMETERS OF THE MIXING DEVICE IN SMALL-SIZED BIOGAS PLANTS

I.S. Potapov

FSAEI HE North-eastern federal university named after M.K. Ammosov
Yakutsk, republic Sakha (Yakutia), Russia

Annotation. The article examines various design features of mechanical mixing devices in small biogas plants with the aim of increasing the efficiency of anaerobic digestion. A comparative

analysis of existing types of mixing devices has been carried out, and the advantages and disadvantages in relation to small anaerobic digesters have been systematized. Taking into account the prospects and potential for using mechanical mixing devices in small-volume anaerobic digesters, the design parameters have been determined that can ensure homogenization with minimal energy consumption and low mechanical stress on microbial communities.

Key words: small-scale biogas plant, design parameters, anaerobic digestion, digester, substrate mixing, organic load, hydraulic retention time.

Метантенки малого объёма от 5 до10 м^3 представляют собой конструктивно сложные системы, поскольку эффективность выхода биогаза напрямую зависит от способности поддерживать гомогенное состояние сбраживаемой массы. В отличие от крупных промышленных реакторов, малогабаритные установки обладают повышенной чувствительностью к возмущениям: изменению состава сырья, колебаниям температуры, перегрузкам по органике. Эти факторы являются первоочерёдными отклонениями гомогенизации среды, которые обуславливают снижение активности метаногенов и, как следствие, падению удельного выхода биогаза.

Перемешивание субстрата в анаэробных реакторах малого объёма способствует решению нескольких ключевых задач:

- Высвобождение пузырьков образовавшегося газа;
- Смешивание свежей биомассы с активной бактериальной популяцией;
- Разрушение плавающей корки и предотвращение осадочных отложений;
- Выравнивание температурного поля и равномерное распределение питательных веществ.

Среди существующих способов перемешивания для малых установок наиболее управляемым и энергоэффективным признано механическое. Однако традиционные ротационные мешалки, в частности, лопастные, турбинные и пропеллерные недостаточно охватывают объём реактора, либо создают высокие сдвиговые усилия, повреждающие микробные ассоциации. Поэтому актуальной научно-технической задачей является поиск и обоснование таких конструктивных параметров механических перемешивающих устройств, которые обеспечивают максимальный удельный выход биогаза при минимальных энергозатратах и сохранении жизнеспособности метаногенов [9].

Следовательно, целью работы является комплексное исследование конструктивных особенностей малых биогазовых установок и определение оптимальных параметров, обеспечивающей интенсификацию процесса брожения и рост выхода биогаза.

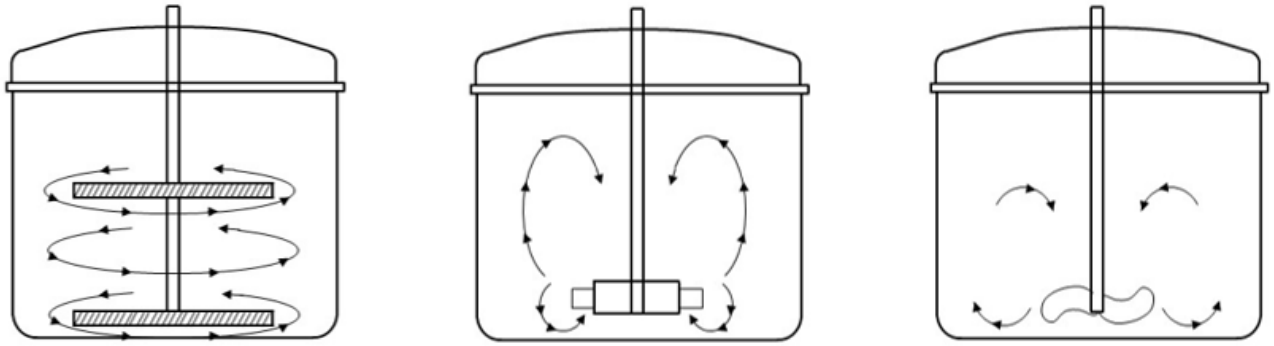
В современной практике малых биогазовых установок применяются несколько типов механических перемешивающих устройств, каждое из которых имеет специфическую гидродинамику, энергоёмкость и характер воздействия на микробные сообщества.

Лопастные мешалки (рисунок 1а) состоят из вала и лопастей, создающих тангенциальный поток. Они оптимальны для низковязких жидкостей, отличаются простотой конструкции, но формируют слабый вертикальный поток. Перемешивание происходит локально, вблизи лопастей, что приводит к оседанию

твёрдых частиц на дно и у стенок, а также к образованию поверхностной корки [1].

Турбинные мешалки (рисунок 1б) засасывают жидкость из центра и выбрасывают её радиально к стенкам. Они охватывают больший объём реактора, улучшая массообмен. Однако сложность конструкции, высокое энергопотребление, риск повреждения микробных флокул и трудности герметизации ограничивают их применение в малых установках [2].

Пропеллерные мешалки (рисунок 1в) – трёхлопастной винт, создающий осевой поток. Основное преимущество низкие сдвиговые усилия, сохраняющие целостность бактерий. Недостатки: засорение крупными волокнистыми включениями и риск образования воронки при высоких оборотах, что снижает эффективный объём реактора [5].

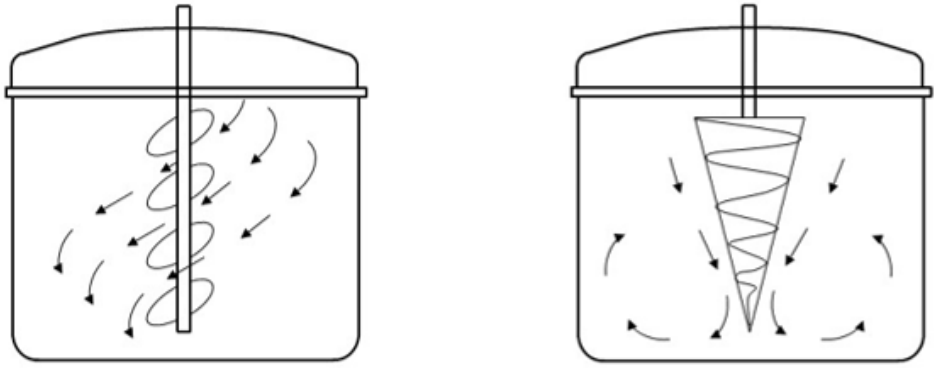


а) Лопастная мешалка; б) Турбинная мешалка; в) Пропеллерная мешалка.

Рисунок 1 – **Механические мешалки**

Винтовые мешалки (рисунок 2а) с одним или несколькими винтовыми элементами обеспечивают осевой поток, предотвращающий стратификацию субстрата по плотности. Для устранения застойных зон их целесообразно устанавливать в реакторах с коническим дном [6].

Конусные перемешивающие устройства (рисунок 2б) создают радиальный поток усечённым конусом, разрыхляют осадок у дна. Однако они сложны в обслуживании, подвержены вибрациям и усталостному разрушению, что ведёт к высоким эксплуатационным затратам [10].

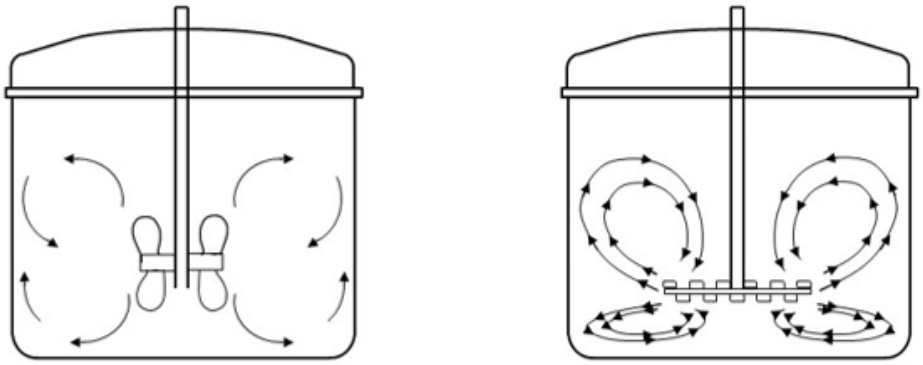


а) Винтовая мешалка; б) Конусная мешалка.

Рисунок 2 – **Механические мешалки**

Радиальные пропеллеры (рисунок 3а) и высокоскоростные дисковые (рисунок 3б) мешалки в малых метантенках практически не применяются, так как

разрушают бактериальные ассоциации и вызывают избыточное пенообразование [7, 8].



а) Радиальные пропеллеры; б) Высокоскоростные дисковые.

Рисунок 3 – **Механические мешалки**

Таким образом анализ показывает, что конструктивные параметры перемешивающего устройства определяются компромиссом между эффективностью массообмена и сохранением целостности микробных сообществ. В этой связи лопастные и конусные устройства характеризуются простотой исполнения, однако при эксплуатации создают локальные потоки и застойные зоны. Наиболее эффективное перемешивание обеспечивают турбинные мешалки, но обладают агрессивным воздействием на биомассу и повышенными энергетическими затратами для реакторов малого объёма. Пропеллерные и винтовые перемешивающие устройства с осевым потоком являются рациональными для микробных сообществ ввиду низких сдвиговых усилий и способности предотвращать стратификацию.

Следовательно, рациональная конструкция перемешивающего устройства представляет собой рабочий орган которая обеспечивает поток жидкости по всему объёму реактора, создаёт минимальные сдвиговые усилия сохраняя целостность микробных сообществ, предотвращает образование плавающей корки и отличается простотой конструкции, герметичностью и ремонтопригодностью [4].

Проведённый анализ показал, что механические перемешивающие устройства являются ключевым средством управления процессом анаэробного сбраживания. Детальное изучение свойств управления перемешиванием требует обращения к математическим моделям, описывающим равномерность распределения субстрата и массоперенос.

Для описания мощности механического перемешивания в метантенке автор Е.Н. Егорова представила следующую математическую модель [3]:

$$N_{\text{п}} = N_{\text{м}} + N_{\text{сп}},$$

где $N_{\text{м}}$ – мощность, затрачиваемая на перемешивание, кВт;

$N_{\text{сп}}$ – мощность спонтанного перемешивания, кВт.

Классическая модель расчёта мощности перемешивания использует методы теории геометрического подобия перемешивающего устройства и рассчитывается по уравнению:

$$N_{\text{М}} = K_n \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5,$$

где K_n – критерий мощности;
ρ – плотность перемешиваемой среды, кг/м^2;
n – частота вращения мешалки, об/с;
d – диаметр мешалки, м.

$$\frac{N}{\mu \cdot n^2 \cdot d^3} = C \cdot Re_{\text{ц}}^{\propto} \cdot Fr_{\text{ц}}^{\beta} \cdot \Gamma_1^{\text{C}} \dots z_1 \cdot z_2.$$

где C – коэффициент, зависящий от типа мешалки;
$Re_{\text{ц}}$ – центробежный критерий Рейнольдса;
ρ – плотность субстрата, кг/м^3;
$Fr_{\text{ц}}$ – центробежный критерий Фруда;
g – ускорение свободного падения, м/с^2;
Γ_1, Γ_2 – симплексы геометрического подобия;
C, a, β, c – коэффициенты мощности и симплексы геометрического подобия;
z_1, z_2 – число лопастей и отражающих устройств в установке.

Данная модель представляет собой расширенную классическую критериальную модель, учитывающая спонтанное перемешивание. Для применения приведённой математической модели для каждого типа перемешивающего устройства необходима адаптация под специфику метантенка как аппарата с неоднородной многофазной средой.

Для адаптации модели к лопастным перемешивающим устройствам создающих тангенциальный поток необходимо учитывать затраты энергии поскольку значительная часть тратится на вращение всего объёма без эффективного перемешивания.

Применительно к турбинным перемешивающим устройствам необходимо ввести множество поправочных симплексов геометрического подобия так как критерий мощности зависит от типа турбины, числа лопастей и их ширины.

При этом мощность, затрачиваемая на перемешивание, не учитывает эффективность направленного осевого потока создающимся пропеллерными перемешивающими устройствами.

Классические уравнения мощности применительны к метантенкам стандартной геометрии, тогда как винтовые перемешивающие устройства используются в основном лабораторных и малых метантенках что может вывести значительную погрешность при масштабировании.

Конусные перемешивающие устройства, поскольку не являются стандартными требует экспериментального определения критерия мощности.

Радиальные пропеллеры и высокоскоростные дисковые мешалки создают зоны сдвиговых напряжений что требует учёта биологического ущерба от интенсивного перемешивания.

На основе проведённого анализа существующих конструкций и математических моделей можно сформулировать основные параметры при конструировании перемешивающего устройства:

- Обеспечение потока жидкости по всему объёму реактора;
- Низкие сдвиговые нагрузки, для сохранения микробных сообществ;

- Разрушение поверхностной корки, с целью высвобождения образующегося газа;
- Простота конструкции и ремонтопригодность;
- Обеспечение герметичности реактора;
- Минимальные затраты энергии.

С учетом конструктивных параметров целесообразно применять перемешивающее устройство с наклонными лопастями (рисунок 4).

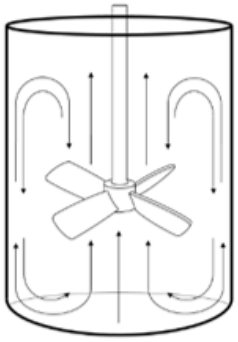


Рисунок 4 – **Перемешивающее устройство с наклонными лопастями**

Перемешивающее устройство с наклонными лопастями создаёт направленное движение жидкости как вертикально, так и горизонтально способствующих предотвращению образования корки. При этом оптимальная геометрия лопастей снижает сдвиговую нагрузку.

Заключение

В работе проведён сравнительный анализ механических перемешивающих устройств, применяемых в малогабаритных биогазовых установках, и систематизированы их преимущества и недостатки применительно к метантенкам малого объёма. Показано, что определяющим компромиссом при выборе конструкции является соотношение между эффективностью массообмена и сохранением целостности микробных сообществ.

На основе анализа сформулированы требования к рациональной конструкции перемешивающего устройства и обоснованы её основные геометрические и режимные параметры. Предложенная перемешивающее устройство с наклонными лопастями и циклическим режимом работы обеспечивает объёмную циркуляцию субстрата, предотвращает образование корки и осадка, снижает сдвиговые нагрузки на микроорганизмы и уменьшает удельные энергозатраты.

Список литературы

1. *Газизуллин, Н.А.* Гидродинамика потоков, создаваемых лопастной мешалкой // Вестник Казанского технологического университета. 2012. – № 2. – С. 59-61.

2. *Газизуллин, Н.А.* Перемешивание вязкой жидкости со свободной поверхностью в аппарате с турбинной мешалкой Раштона // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2014. – № 3 (43). – С. 146-154.

3. *Егорова, Е.Н.* Обоснование параметров метантенка малого объема с перемешивающим устройством для условий Республика Саха (Якутия) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / *Егорова Елена Николаевна*. – Благовещенск, 2017. – 20 с.

4. *Караева, Ю.В.* Влияние геометрических параметров метантенка на эффективность процесса метанового брожения / *Ю.В. Караева, И.А. Трахунова, Г.Р. Халитова, С.И. Исламова* // Вестник Казанского технологического университета. 2013. – № 19. – С. 211-214.

5. *Китун, А.В.* Теоретические исследования длины перемещения струи жидкого навоза при его перемешивании в навозохранилище / *А.В. Китун, И.М. Швед* // Техника и технологии в животноводстве. 2024. № 2. – С. 83-90.

6. *Китун, А.В.* Исследования параметров при перемешивании жидкого навоза миксером / *А.В. Китун, И.М. Швед* // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. – № 4.

7. *Трифанов, А.В.* Теоретические предпосылки расчета устройства для перемешивания жидкого свиного навоза в навозохранилищах / *А.В. Трифанов, О.В. Ворожцов* // АгроЭкоИнженерия. 2014. – № 85. – 144-154.

8. *Хабибрахманов, Р.Б.* Особенности мощностных и массообменных характеристик биореактора с дисковыми перфорированными мешалками / *Р.Б. Хабибрахманов, С.Г. Мухачев* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. – № 4 (31). – С. 737-749.

9. *Шаяхметов, Р.Г.* Исследование способов перемешивания в метантенках / *Р.Г. Шаяхметов*. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2010. – № 12 (23). – Т. 1. – С. 43-45.

10. *Шаяхметов, Р.Г.* Опыт применения программного комплекса ANSYS WORKBENCH для моделирования процессов перемешивания в метантенках / *Р.Г. Шаяхметов, В.Г. Исаков, С.М. Ефремов* // Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. – № 3 (59). – С. 127-131.

Сведения об авторе

Потапов Илья Семенович – аспирант, кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, (677000, Россия, республика Саха (Якутия), г. Якутск, тел.: 8(914)2259816, e-mail: ils.potapov@svfu.ru).

Information about the author

Potapov Ilya S. – postgraduate student of the Department of "Operation of motor transport and auto repair" of the Northeastern federal university named after M. K. Ammosov, (677000, Russia, republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, tel.: 8(914)2259816, e-mail: ils.potapov@svfu.ru.

УДК 631.363.2

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

О.И. Самбарова, Ц.В. Цэдашиев

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В работе рассмотрены закономерности изменения рабочих характеристик измельчителя корнеклубнеплодов при варьировании частоты вращения приводного электродвигателя. Показано, что повышение частоты вращения режущего диска от 573 до 1150 мин$^{-1}$ обеспечивает рост производительности с 540 до 720 кг/ч (при двух горизонтальных ножах), а удельные энергозатраты при этом снижаются со 190 до 56 Вт·ч/т. Обоснованы рациональные диапазоны частоты вращения применительно к разным половозрастным группам животных:

для крупного рогатого скота: 500-767 мин$^{-1}$, для свиней: 1000 мин$^{-1}$, для птицы: 1128-1150 мин$^{-1}$. Установлено, что превышение скорости резания свыше 10-12 м/с сопровождается интенсивным переизмельчением сырья и неоправданным ростом энергоёмкости. Полученные зависимости могут найти применение при проектировании измельчающего оборудования и создании систем автоматической стабилизации частоты вращения привода.

Ключевые слова: измельчитель корнеклубнеплодов, частота вращения, электродвигатель, удельная энергоёмкость, гранулометрический состав, производительность, степень измельчения.

INFLUENCE OF ELECTRIC MOTOR ROTATIONAL SPEED ON THE PERFORMANCE INDICATORS OF THE ROOT AND TUBER CROP GRINDING PROCESS

O.I. Sambarova, Ts.V. Tsedashiev

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The paper considers the patterns of change in the performance characteristics of a root and tuber crop grinder when varying the rotational speed of the drive electric motor. It is shown that an increase in the cutting disc rotational speed from 573 to 1150 min^{-1} ensures a productivity increase from 540 to 720 kg/h (with two horizontal knives), while specific energy consumption decreases from 190 to 56 Wh/t. Rational rotational speed ranges have been substantiated for different sex and age groups of animals: for cattle: 500-767 min^{-1}, for pigs: 1000 min^{-1}, for poultry: 1128-1150 min^{-1}. It has been established that exceeding the cutting speed above 10-12 m/s is accompanied by intensive over-grinding of raw material and unjustified growth of energy intensity. The obtained dependencies can find application in the design of grinding equipment and the creation of systems for automatic stabilization of drive rotational speed.

Key words: root and tuber crop grinder, rotational speed, electric motor, specific energy consumption, granulometric composition, productivity, degree of grinding.

Полноценное кормление сельскохозяйственных животных остаётся одной из приоритетных задач агропромышленного комплекса. Сочные корма на основе корнеклубнеплодов: картофеля, моркови, свёклы, топинамбура – отличаются высокой питательной ценностью и хорошей усвояемостью, благодаря чему широко применяются в рационах крупного рогатого скота, свиней и птицы. Вместе с тем эффективность использования такого сырья во многом определяется качеством его предварительной подготовки, центральное место в которой занимает измельчение. Зоотехнические нормативы регламентируют размер частиц в зависимости от вида животного: для крупного рогатого скота он составляет: 10-15 мм, для свиней: 5-10 мм, для птицы: 3-5 мм. Отклонение от этих значений в меньшую сторону приводит к перерасходу энергии и потерям питательных веществ, в большую – к снижению усвояемости корма.

Среди совокупности конструктивных и режимных параметров измельчающих устройств именно частота вращения рабочего органа во многом предопределяет как производительность установки, так и энергоёмкость процесса. Серийно выпускаемые измельчители (ИКМ-5, ИКС-5М, КПСК-1000 и их модификации) оснащены, как правило, приводом с неизменной или слабо регулируемой

частотой вращения, что затрудняет перенастройку оборудования под конкретные зоотехнические требования без замены рабочих органов [2, 4, 9, 10, 11]. В связи с этим научное обоснование рациональных режимов работы электродвигателя с учётом вида перерабатываемого сырья и целевой группы животных приобретает выраженную практическую значимость.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать существующие конструкции измельчителей корнеклубнеплодов и оценить роль частоты вращения рабочих органов в формировании их рабочих характеристик;

2. Установить количественные зависимости между частотой вращения электродвигателя и основными показателями процесса измельчения;

3. Определить рациональные диапазоны частоты вращения для различных целевых групп животных;

4. Сформулировать практические рекомендации по выбору режимов работы электродвигателя измельчителя.

Обзор существующих технических решений показывает, что в подавляющем большинстве машин для измельчения корнеклубнеплодов реализован ножевой принцип воздействия на материал. По характеру движения рабочих органов такие устройства принято разделять на возвратно-поступательные и вращательные (центробежные). Наибольшее распространение в производственных условиях получили измельчители марок ИКМ-5, ИКС-5М, КПСК-1000 и их модификации [4, 9, 10, 11].

В конструкции измельчителя ИКМ-Ф-10 предусмотрены литой корпус и два диска – верхний и нижний. Верхний диск несёт два горизонтальных ножа, нижний – две выгрузные лопатки. Оба диска посажены на вал электродвигателя мощностью 7,5 кВт, частота вращения которого составляет 496 мин$^{-1}$ [9, 10]. Измельчитель ИКС-5М выполнен по близкой схеме, однако ему присущ существенный недостаток – чрезмерное переизмельчение корнеплодов, сопровождающееся потерями сока и, соответственно, снижением кормовой ценности готового продукта [9, 10].

Более перспективным направлением признано создание двухступенчатых измельчающих аппаратов [4]. Так, в работе [3] описано устройство с вальцовым подпором, обеспечивающее получение ломтиков заданной толщины: первая ступень выполнена дискового типа, вторая – с вальцовым подпором и плоскими ножами, установленными радиально по кольцу. Также известен патент на изобретение № 2625969 С1, защищающий конструкцию измельчителя корнеклубнеплодов [5].

В патенте на полезную модель «Устройство для измельчения корнеклубнеплодов» [6] предложено техническое решение, включающее цилиндрический корпус с размещёнными внутри измельчающими рабочими органами: двумя парами серповидных ножей, горизонтальным калибратором с гребёнкой и отражателем. Ротор с фланцами получает вращение от электродвигателя, а измельчённый продукт выводится через горизонтальные щели калибратора и гребёнки. Такая компоновка позволяет повысить эффективность измельчения, сохранить

сочность материала, упростить конструкцию и расширить универсальность устройства [11].

Сравнительная характеристика рассмотренных конструкций приведена в таблице 1.

Таблица 1 – **Сравнительная характеристика конструкций измельчителей корнеклубнеплодов**

№	Модель / устройство	Основные рабочие органы	Частота вращения, мин⁻¹	Мощность привода, кВт	Особенности
1	ИКМ-Ф-10	Два горизонтальных ножа, две выгрузные лопатки	496	7,5	Серийная машина, фиксированный режим
2	ИКС-5М	Диск с горизонтальным ножом, дека	Не регулируется	-	Переизмельчение, потери сока
3	Устройство с вальцовым подпором (Брусенков и др.)	Диск + вальцовый подпор, плоские ножи	1,67…2,10 с⁻¹ (≈100–126)	-	Получение ломтиков заданной толщины
4	Полезная модель RU 144134 (Гармаев, Цэдашиев и др.)	Две пары серповидных ножей, калибратор с гребёнкой	Регулируемая	-	Повышение эффективности, сохранение сочности

Методологической основой расчёта измельчающих аппаратов выступает теория резания лезвием, разработанная академиком В.П. Горячкиным и развитая в дальнейшем академиком В.А. Желиговским и профессором Н.Е. Резником. Значимое влияние на энергоёмкость резания оказывает трение материала о рабочие органы и ограждающие поверхности. Усилие резания корнеклубнеплодов удовлетворительно описывается квадратичной зависимостью вида $F_{\text{рез}} = 0{,}0158\omega^2 - 1$, где ω – угловая скорость рабочего органа [3, 10].

Наиболее полное освещение рассматриваемого вопроса содержится в исследованиях [9, 10]. В качестве объекта испытаний выступали клубни картофеля со средним диаметром 43…45 мм, а частота вращения режущего диска варьировалась на уровнях 1150, 1128, 880, 711 и 573 мин⁻¹.

Прослеживается устойчивая тенденция к росту производительности по мере увеличения частоты вращения. При частоте 1150 мин⁻¹ и двух горизонтальных ножах достигнута производительность 720 кг/ч, тогда как с одним ножом – лишь 540 кг/ч. Одновременное увеличение числа ножей и частоты их вращения даёт возможность уменьшить удельные энергозатраты со 190 до 70 Вт·ч/т, поднять производительность с 298 до 637 кг/ч и увеличить долю фракции 3…15 мм с 37 до 44 % [10].

Повышение частоты вращения режущего диска сопровождается увеличением выхода мелкой фракции и уменьшением крупной. Для достижения требуемой доли частиц размером до 15 мм частоту вращения необходимо поднимать

как минимум до 1128 мин$^{-1}$. При одном ноже содержание частиц 3-15 мм составляет 50 %, при двух – 54 % [10].

Зависимость удельной энергоёмкости от частоты вращения имеет нелинейный характер. На начальном участке рост частоты вращения сопровождается снижением удельных энергозатрат, однако после достижения определённого порога наблюдается их резкое увеличение. В частности, повышение частоты вращения ротора в интервале 800…1400 мин$^{-1}$ вызывает рост удельной энергоёмкости до 1679-7779 Вт·с/кг (в зависимости от сочетания рабочих органов) при одновременном падении производительности. Критическим фактором здесь выступает скорость резания: при её превышении отметки 10 м/с удельная энергоёмкость измельчения возрастает скачкообразно. При максимальной стружке корнеплодов h = 15 мм частота вращения ротора корнерезки не должна выходить за пределы 12,78 с$^{-1}$ (767 об/мин) [10].

В диапазоне частот 800-1200 мин$^{-1}$ потери сока удерживаются в допустимых границах (1,9-2,3 %). При частоте 1400 мин$^{-1}$ они приближаются к верхней допустимой отметке, что объясняется интенсификацией переизмельчения и разрушением клеточных структур при высоких скоростях резания [10].

Сводные данные о влиянии числа ножей на показатели измельчения при частоте вращения 1150 мин$^{-1}$ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – **Влияние числа ножей на показатели измельчения корнеклубнеплодов при частоте вращения 1150 мин$^{-1}$**

№	Число ножей	Производительность, кг/ч	Удельные энергозатраты, Вт·ч/т	Содержание фракции 3-15 мм, %
1	1	540	93	50
2	2	720	56	54

Используя методы активного планирования эксперимента [10], выполнили оптимизацию режимных параметров измельчителя корнеклубнеплодов. Для различных целевых групп животных рекомендованы значения, приведённые в таблице 3.

Таблица 3 – **Рациональные режимы измельчения корнеклубнеплодов для различных групп животных**

№	Группа животных	Угол резания α, град	Число ножей N	Скорость резания Vp, м/с	Рекомендуемая частота вращения, мин$^{-1}$
1	Птица	45	3	12	1128-1150
2	КРС	25	2	12	500-767
3	Свиньи	35	2	10	1000

Применительно к устройству с вальцовым подпором рациональная частота вращения рабочего органа лежит в пределах 1,67…2,10 с$^{-1}$, чему соответствует удельный расход энергии 774,9…779,0 Вт·с/кг [2]. При подготовке корнеклубнеплодов для крупного рогатого скота деку снимают, а частоту вращения двигателя уменьшают до 500 мин$^{-1}$; для свиней, напротив, деку устанавливают и повышают

частоту вращения до 1000 мин$^{-1}$. Мелкое измельчение достигается при частоте вращения диска 920 мин$^{-1}$, крупное – при 465 мин$^{-1}$ [10].

Обобщение проанализированных данных позволяет заключить, что частота вращения электродвигателя выступает ключевым режимным параметром, от которого зависит весь комплекс показателей измельчения корнеклубнеплодов. В определённых пределах увеличение частоты вращения обеспечивает рост производительности и снижение удельных энергозатрат, однако выход за границы оптимальных значений оборачивается резким повышением энергоёмкости и переизмельчением продукта. Рациональные режимы дифференцированы по видам животных: для КРС предпочтительны пониженные частоты (500-767 мин$^{-1}$), для свиней – средние (1000 мин$^{-1}$), для птицы – повышенные (1128-1150 мин$^{-1}$). Критическая скорость резания составляет 10-12 м/с. Следует отметить, что вопросы комплексной оценки эффективности измельчителей рассматривались в работах [7, 8].

Проведённый анализ позволяет сформулировать следующие выводы:

- Номенклатура измельчителей корнеклубнеплодов отличается широким разнообразием, однако большинство серийных образцов располагает фиксированными либо ограниченно регулируемыми режимами работы, что препятствует адаптации процесса измельчения к конкретным зоотехническим требованиям без переналадки привода [4, 9, 10, 11];

- Частота вращения рабочего органа выступает ключевым режимным параметром, определяющим производительность, энергоёмкость и гранулометрический состав измельчённого продукта. В определённых пределах рост частоты вращения способствует повышению производительности и снижению удельных энергозатрат, тогда как превышение оптимальных значений ведёт к резкому росту энергоёмкости и переизмельчению продукта [10];

- Рациональные режимы измельчения дифференцированы по видам животных: для КРС рекомендуются пониженные частоты (500-767 мин$^{-1}$), для свиней – средние (1000 мин$^{-1}$), для птицы – повышенные (1128 - 1150 мин$^{-1}$). Критическая скорость резания находится в пределах 10-12 м/с [10];

- Недостаточно изученными остаются вопросы комплексного влияния частоты вращения на потери сока и кормовую ценность продукта, а также закономерности измельчения других видов корнеклубнеплодов (морковь, свёкла, топинамбур) при варьировании частоты вращения [7, 8];

- Перспективным направлением представляется разработка систем автоматического регулирования частоты вращения электродвигателя измельчителя в зависимости от вида перерабатываемого сырья и целевой группы животных [1].

Список литературы

1. *Ильин, П.И.* Сушка семян зерновых культур в условиях мелкотоварного производства / *П.И. Ильин, Ц.В. Цэдашиев, Л.Н. Цэдашиева* // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2017. – № 24. – С. 48-54. – EDN ZXVHPD.

2. *Ильин, П.И.* Анализ работы асинхронных двигателей в системе вентиляции птичников / *П.И. Ильин* // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России : Материалы Международной научной конференции, Красноярск, 19 ноября 2020 года. –

Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – С. 92-96. – EDN PZNSNV.

3. Исследование энергоемкости устройства для измельчения корнеклубнеплодов с вальцовым подпором / *А.В. Брусенков, С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, А.В. Прохоров* // Наука в центральной России. – 2015. – № 5 (17). – С. 25-31. – EDN WBMFVX.

4. Модернизация технических средств для измельчения корнеклубнеплодов / *С.Н. Шуханов, П.А. Болоев, В.Д. Коваливнич, А.С. Доржиев* // Аграрная наука. – 2015. – № 5. – С. 30-31. – EDN TVOVBX.

5. Патент № 2625969 C1 Российская Федерация, МПК B02C 15/00, B02C 18/06. Устройство для измельчения корнеклубнеплодов : заявл. 25.02.2016 : опубл. 20.07.2017 / *А.В. Брусенков* ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тамбовский государственный технический университет" ФГБОУ ВПО "ТГТУ". – EDN MICQJG.

6. Патент на полезную модель № 144134 U1 Российская Федерация, МПК A01F 29/00. Устройство для измельчения корнеклубнеплодов : № 2014115321/13 : заявл. 16.04.2014 : опубл. 10.08.2014 / *Ж.В. Гармаев, Г.Ф. Ханхасаев, С.Н. Шуханов* [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления". – EDN WGRNMG.

7. *Ряднов, А.И.* Выбор частных показателей комплексной оценки эффективности использования измельчителя корнеклубнеплодов / *А.И. Ряднов, О.А. Федорова, А.К. Мамахай* // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 4 (45). – С. 45-50. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-45-50. – EDN USRWNY.

8. Ряднов, А.И. Совершенствование конструкции измельчителя корнеклубнеплодов / *А.И. Ряднов, О.А. Федорова, А.К. Мамахай* // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 3 (118). – С. 40-51. – DOI 10.24412/2227-9407-2021-3-40-51. – EDN HGMOXC.

9. *Савиных, П.А.* Измельчитель корнеклубнеплодов / *П.А. Савиных, С.Ю. Булатов, Р.А. Смирнов* // Сельский механизатор. – 2013. – № 8. – С. 40-41. – EDN RCFKFZ.

10. *Савиных, П.А*. Оптимизация рабочего процесса измельчителя корнеклубнеплодов / *П.А. Савиных, С.Ю. Булатов, Р.А. Смирнов* // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2015. – Т. 1, № 3(3). – С. 36-42. – EDN UYWEEP.

11. *Ханхасаев, Г.Ф*. Усовершенствованный измельчитель корнеклубнеплодов / *Г.Ф. Ханхасаев, С.Н. Шуханов, В.Д. Коваливнич* // Актуальные вопросы технического, технологического и кадрового обеспечения АПК : Материалы VI научно-практической конференции с международным участием «Чтения И. П. Терских» посвященной 80-летию Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, Иркутск, 25-26 сентября 2014 года / Ответственный за выпуск: П.И. Ильин, к.т.н., доцент. – Иркутск : Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – С. 140-146. – EDN LLYLWR.

Сведения об авторах

Самбарова Ольга Ивановна – студентка второго курса колледжа Автомобильного транспорта и агротехнологий Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79149162238, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Цэдашиев Цырендаши Владимирович – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Information about the authors

Sambarova Olga I. – 2nd-year student at the college of automotive transport and agrotechnologies, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: +79149162238; e-mail: thedashiev@mail.ru).

Tsedashiev Tsyrendashi V. – senior lecturer at the department of agricultural machinery and technologies, occupational safety, and vocational training, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: +79500834583; e-mail: thedashiev@mail.ru).

УДК 631.362.36:631.365.22

ВИХРЕВЫЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА: КОНСТРУКТИВНЫЕ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ

О.И. Самбарова, А.Ц. Будажапов, Н.О. Шелкунова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье представлен расширенный обзор девяти научных публикаций, посвящённых сушке, охлаждению и активному вентилированию зерновых масс. Основное внимание уделено вихревым аппаратам, в которых закрученный газовый поток интенсифицирует тепло- и массообмен. Рассмотрены конструктивные решения сушилок, и охладителей, методы оценки аэродинамики рабочей камеры, экспериментальные данные по коэффициенту теплоотдачи зерна, а также вопросы ресурсосбережения и технического обслуживания оборудования в крестьянско-фермерских хозяйствах. Показано, что вихревые технологии, обладают достаточной научной базой, однако их широкое внедрение сдерживается отсутствием типовых методик расчёта и адаптированных регламентов эксплуатации. Предложена структурно-функциональная схема модуля вихревой послеуборочной обработки зерна, объединяющая вихревую камеру, активное вентилирование и систему контроля параметров.

Ключевые слова: зерно, вихревой охладитель, сушилка, аэродинамика, теплоотдача, активное вентилирование, ресурсосбережение, техническое обслуживание, крестьянско-фермерское хозяйство.

VORTEX AERODYNAMIC TECHNOLOGIES OF POST-HARVEST GRAIN PROCESSING: CONSTRUCTIONAL, THERMOPHYSICAL AND OPERATIONAL ASPECTS

O.I. Sambarova, A.Ts. Budazhapov, N.O. Shelkunova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article presents an extended review of nine scientific publications devoted to drying, cooling, and active ventilation of grain masses. The main attention is paid to vortex

apparatuses, in which a swirling gas flow intensifies heat and mass transfer. Design solutions for dryers and coolers, methods for assessing the aerodynamics of the working chamber, experimental data on the heat transfer coefficient of grain, as well as issues of resource saving and maintenance of equipment in peasant farms are considered. It is shown that vortex technologies have a sufficient scientific basis, but their widespread introduction is hindered by the lack of standard calculation methods and adapted operating regulations. A structural-functional scheme of a module for vortex post-harvest grain processing is proposed, combining a vortex chamber, active ventilation, and a parameter control system.

Key words: grain, vortex cooler, dryer, aerodynamics, heat transfer, active ventilation, resource saving, maintenance, peasant farm.

Послеуборочная обработка зерна является критическим этапом сельскохозяйственного производства. От своевременности и качества сушки, охлаждения и вентилирования зависят сохранность урожая, его продовольственная и семенная ценность, а также экономические показатели хозяйства. Влажное и тёплое зерно подвержено самосогреванию, поражению плесневыми грибами и насекомыми-вредителями. Поэтому снижение влажности и температуры должно происходить в сжатые сроки и с минимальными энергозатратами.

Традиционные сушильные установки и системы активного вентилирования не всегда обеспечивают равномерность обработки. В слоевых и шахтных сушилках возможны неравномерность прогрева, локальные перегревы и повышенный расход топлива или электроэнергии. Альтернативой выступают вихревые аппараты, в которых газовый поток закручивается, создавая интенсивное перемешивание и увеличивая поверхность контакта между теплоносителем и зерновой массой. Такие устройства способны, повысить коэффициенты тепло- и массоотдачи, сократить время обработки и снизить удельные энергозатраты.

Цель настоящего обзора – систематизировать результаты исследований по вихревой и аэродинамической обработке зерна, выявить конструктивные и режимные решения, оценить степень готовности технологий к практическому внедрению, а также обозначить направления дальнейших работ.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Проанализировать конструктивные решения сушильного и охлаждающего оборудования;
- Обобщить данные по аэродинамике и теплообмену в вихревых камерах;
- Рассмотреть ресурсосберегающие аспекты послеуборочной обработки;
- Оценить эксплуатационные требования для малых форм хозяйствования;
- Предложить схему интеграции вихревых устройств в технологическую линию.

Вихревое движение газового потока, характеризуется наличием тангенциальной, радиальной и осевой составляющих скорости. За счёт центробежных сил частицы зерна и примесей отбрасываются к периферии или удерживаются во взвешенном состоянии, что зависит от режима работы аппарата. В рабочей камере формируется развитая турбулентность, которая способствует разрушению пограничных слоёв вокруг частиц и ускоряет перенос тепла и влаги.

С точки зрения теплофизики вихревая обработка позволяет:

- Увеличить относительную скорость фаз;
- Повысить коэффициент теплоотдачи от газа к поверхности зерна;
- Снизить неравномерность температурного поля;
- Сократить продолжительность обработки;
- Уменьшить температурный напор и, следовательно, риск перегрева семенного материала.

Однако эффективность вихревого аппарата зависит от геометрии камеры, угла входа потока, расхода теплоносителя, начальной влажности и температуры зерна. Поэтому экспериментальные исследования аэродинамики и теплообмена остаются востребованными.

Анализ источников показывает, что развитие вихревых технологий идёт по двум взаимосвязанным направлениям: совершенствование промышленных сушильных аппаратов и создание лабораторных стендов для изучения процессов.

В работе [1] предложена модернизация сушилки зернистых материалов. Основное внимание уделено оптимизации движения теплоносителя внутри рабочей зоны и повышению равномерности обработки. Конструктивные изменения направлены на снижение гидравлического сопротивления и более полное использование теплоты газового потока.

В исследовании [4] описана лабораторная установка вихревого охладителя зерна. Стенд позволяет регулировать расход воздуха, температуру теплоносителя, скорость загрузки и выгрузки материала, а также измерять температуру зерна и газа в характерных точках. Такая установка служит инструментальной базой для проверки теоретических моделей и отработки режимов перед масштабированием.

Работа [7] посвящена исследованию вихревой газовой сушилки. В ней показано, как вихревой принцип реализуется в сушильном аппарате, обеспечивая интенсивное перемешивание и сокращение времени сушки. Авторы рассматривают влияние конструктивных параметров на аэродинамику и тепловые характеристики.

В публикации [8] предложена модернизация аппарата для активного вентилирования масс сельскохозяйственной продукции. Активное вентилирование остаётся одним из наиболее доступных способов послеуборочной обработки, однако оно энергоёмко. Предложенные решения позволяют снизить потребление энергии при сохранении качества продукции.

На основе обобщения [1; 2; 4; 7; 8] может быть предложена структурно-функциональная схема модуля вихревой послеуборочной обработки зерна. Она включает приёмный бункер, дозатор-питатель, вихревую камеру, выгрузной узел, вентилятор с калорифером, блок управления и контур отвода отработанного теплоносителя. Такая схема не является окончательной конструкторской разработкой, а отражает логику объединения вихревой камеры, системы подготовки теплоносителя и контура контроля. В зависимости от хозяйственных условий модуль может работать в режимах сушки, охлаждения или активного вентилирования.

Эффективность вихревого аппарата определяется, структурой течения в рабочей камере. В исследовании [2] проанализированы закономерности движения газового потока в вихревой камере охладителя зерна. Полученные данные позволяют целенаправленно проектировать аппараты с заданными характеристиками: выбирать угол закрутки, диаметр камеры, положение входных и выходных патрубков.

Важным дополнением служит работа [5], в которой определены экспериментальные значения коэффициента теплоотдачи зерна при работе вихревого охладителя. Эти данные дают возможность рассчитывать тепловые режимы, оценивать необходимую мощность калорифера и вентилятора, а также прогнозировать энергопотребление установки.

Совместное использование результатов [2, 5] формирует расчётно-экспериментальную основу для проектирования вихревых устройств. Можно выделить несколько ключевых зависимостей:

- Коэффициент теплоотдачи растёт с увеличением расхода газа и степени закрутки потока;
- Чрезмерная закрутка приводит к росту гидравлического сопротивления и энергозатрат;
- Существует рациональный диапазон режимных параметров, при котором достигается компромисс между интенсивностью теплообмена и энергопотреблением;
- Равномерность обработки зависит от дисперсности зерновой массы и времени пребывания в камере.

Таким образом, вихревая камера должна проектироваться не только по тепловой нагрузке, но и с учётом аэродинамического сопротивления, поскольку именно оно во многом определяет эксплуатационные затраты.

Ресурсосбережение в сельском хозяйстве, включает не только экономию топлива и электроэнергии, но и сохранение качества продукции, снижение потерь и уменьшение воздействия на окружающую среду. В работе [3] рассмотрены ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в условиях Восточной Сибири. Послеуборочная обработка является частью общей технологической цепочки, и её энергоёмкость влияет на конечную эффективность производства.

Вихревые технологии соответствуют принципам ресурсосбережения по нескольким причинам:

- Интенсификация тепло- и массообмена позволяет сократить время обработки;
- Равномерность прогрева снижает риск повторной сушки;
- Возможность работы в режимах охлаждения и вентилирования уменьшает потребность в интенсивной термической сушке;
- Модульность оборудования позволяет использовать его в хозяйствах разного масштаба.

В работе [7] показано, что вихревая газовая сушилка может быть реализована как самостоятельный аппарат. В [8] предложена модернизация аппарата

активного вентилирования. Совместное применение этих решений позволяет создать гибкую линию, в которой вихревая камера используется для быстрой обработки наиболее влажной части урожая, а активное вентилирование – для доведения продукции до кондиции.

Для малых форм хозяйствования важны, не только технические характеристики оборудования, но и простота обслуживания, доступность запасных частей и адаптация к местным условиям. В работе [6] рассмотрены применение и обслуживание зерносушильного оборудования в крестьянско-фермерских хозяйствах. Отмечается, что многие хозяйства сталкиваются с ограничениями по квалификации персонала, энергетическим мощностям и сервисной инфраструктуре.

В публикации [9] систематизировано техническое обслуживание зерносушилок. Описаны регламентные работы, меры по повышению надёжности агрегатов, диагностика неисправностей. Для вихревых аппаратов эти рекомендации особенно актуальны, поскольку они содержат движущиеся механизмы, системы подачи воздуха и датчики.

Можно выделить основные эксплуатационные требования:

- Регулярная очистка рабочей камеры и воздуховодов;
- Контроль дисбаланса вентилятора и состояния подшипников;
- Проверка датчиков температуры и влажности;
- Соблюдение режимов загрузки и выгрузки;
- Своевременная замена изнашиваемых элементов.

Без учёта этих факторов внедрение даже эффективных технологий может быть затруднено или экономически неоправданно.

Обобщение девяти источников показывает, что вихревые технологии послеуборочной обработки зерна прошли этап лабораторных и теоретических исследований. Созданы экспериментальные стенды, получены данные по аэродинамике и теплоотдаче, предложены конструктивные решения для сушилок и охладителей, а также для аппаратов активного вентилирования.

Вместе с тем остаются нерешённые вопросы:

- Отсутствуют типовые методики расчёта вихревых камер для конкретных культур и хозяйственных условий;
- Недостаточно данных по длительной эксплуатации в производственных условиях;
- Не в полной мере изучено влияние вихревой обработки на посевные качества семян;
- Требуются экономические оценки для хозяйств разного масштаба;
- Необходима адаптация регламентов обслуживания [6; 9] к вихревым аппаратам.

Наиболее перспективным представляется модульный подход. Вихревой охладитель [4], вихревая сушилка [7], модернизированная сушилка [1] и аппарат активного вентилирования [8] могут быть объединены в единую линию с общим блоком управления. Такая линия способна работать в нескольких режимах: интенсивная сушка, охлаждение, вентилирование, временное хранение. Для

условий Восточной Сибири, где уборочный период часто ограничен погодными условиями, это особенно важно [3].

Проведённый обзор подтверждает, что вихревые аэродинамические технологии являются перспективным направлением послеуборочной обработки зерна. Они обеспечивают интенсификацию тепло- и массообмена, позволяют снизить энергозатраты и повысить равномерность обработки. Научная база включает исследования аэродинамики рабочей камеры, экспериментальные данные по теплоотдаче, конструктивные разработки сушилок и охладителей, а также решения по активному вентилированию.

Дальнейшие шаги должны быть направлены на:

- Проведение опытно-промышленных испытаний;
- Разработку инженерных методик расчёта;
- Оптимизацию геометрии вихревых камер;
- Создание типовых модулей для хозяйств разного масштаба;
- Адаптацию регламентов технического обслуживания;
- Экономическую оценку эффективности внедрения.

Реализация этих направлений будет способствовать повышению устойчивости агропромышленного комплекса и сохранению качества зерна при минимальных затратах.

Список литературы

1. *Алтухова, Т.А.* Модернизация сушилки зернистых материалов / *Т.А. Алтухова, С.В. Алтухов, С.Н. Шуханов* // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 2. – С. 149-153. – DOI 10.17816/0321-4443-100577. – EDN WDKQWT.

2. Аэродинамика рабочей камеры вихревого охладителя зерна / *Г.Ф. Ханхасаев, С.Н. Шуханов, Т.А. Алтухова, Ц.В. Цэдашиев* // Вестник ВСГУТУ. – 2014. – № 5 (50). – С. 44-47. – EDN SYJEFJ.

3. *Болоев, П.А.* Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в условиях Восточной Сибири / *П.А. Болоев, С.Н. Шуханов, Г.Н. Поляков* // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 10. – С. 31-34. – EDN ULZYHR.

4. Лабораторная установка вихревого охладителя зерна / *Г.Ф. Ханхасаев, Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов, Ц.В. Цэдашиев* // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2015. – № 1 (38). – С. 57-59. – EDN TKZOPL.

5. Определение коэффициента теплоотдачи зерна при работе вихревого охладителя / *Г.Ф. Ханхасаев, Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов, Ц.В. Цэдашиев* // Вестник ИрГСХА. – 2014. – № 63. – С. 91-95. – EDN SLPDVB.

6. Применение и обслуживание зерносушильного оборудования КФХ / *Ц.В. Цэдашиев, А.И. Аносова, П.И. Ильин, М.К. Бураев* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : материалы XI Международной научно-практической конференции, Иркутск, 28- 29 апреля 2022 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 372-379. – EDN MFIJIK.

7. Цэдашиев, Ц.В. Исследование вихревой газовой сушилки / *Ц.В. Цэдашиев, Г.Ф. Ханхасаев* // Проблемы динамики и прочности современных машин : Материалы международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 01 января – 31 2016 года / Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. Том Выпуск 1. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный универ, 2016. – С. 189-195. – EDN DWBPFO.

8. *Цэдашиев, Ц.В.* Модернизация аппарата для активного вентилирования масс сельскохозяйственной продукции / *Ц.В. Цэдашиев, Н.В. Степанов, С.Н. Шуханов* // Известия

Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2 (94). – С. 106-109. – EDN IXQEPZ.

9. *Цэдашиев, Ц.В.* Техническое обслуживание зерносушилок / *Ц.В. Цэдашиев, М.К. Бураев* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06-08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 211-218. – EDN MDYHCG.

Сведения об авторах

Самбарова Ольга Ивановна – студентка второго курса колледжа Автомобильного транспорта и агротехнологий Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79149162238, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Будажапов Александр Цыриторович - стдент второго курса инженерного факультета Иркутского ГАУ (664038, Россия, Ир кутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79144384275, e-mail: Budazhapov@yandex.ru).

Шелкунова Наталья Олеговна – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79641028180, e-mail: n/shelkunova@yandex.ru).

Information about the authors

Sambarova Olga I. – second-year student at the college of automotive transport and agrotechnologies, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsky district, Molodezhny settlement; tel.: +79149162238; e-mail: thedashiev@mail.ru).

Budazhapov Alexander Ts. – second-year student at the faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsky district, Molodezhny settlement; tel.: +79144384275; e-mail: Budazhapov@yandex.ru).

Shelkunova Natalia O. – senior lecturer at the department of agricultural machinery and technologies, occupational safety, and vocational training, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsky district, Molodezhny settlement; tel.: +79641028180; e-mail: n/shelkunova@yandex.ru).

УДК 631.674

ШЛАНГОВЫЙ ДОЖДЕВАТЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР: ОСОБЕННОСТИ ЕГО КОНСТРУКЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

В.Н. Хабардин, В.В. Пальвинский

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В последние годы развития орошаемых площадей в России сдерживается отсутствием новых опытно-конструкторских разработок по дождевальным машинам вследствие наличия значительной доли иностранной техники. В связи с этим важнейшим вопросом развития орошаемого земледелия в нашей стране является обеспечение сельскохозяйственных

товаропроизводителей отечественной дождевальной техникой, не уступающей по своим характеристикам передовым образцам иностранного производства. Создание таких разработок представляется возможным на базе новых технических решений с последующим их уточнением (совершенствованием) в процессе разработки опытных образцов и их экспериментальной проверки (исследования) в лабораторных и производственных условиях. Поэтому в настоящее время в Иркутском ГАУ (на инженерном факультете) уже создана линейка новых технических решений на уровне изобретений. В частности, предложен на уровне изобретений шланговый дождеватель сельскохозяйственных культур. Настоящая статья посвящена особенностям его конструкции и применения по назначению. Показано, что предложенный дождеватель обладает улучшенными эксплуатационными свойствами: малой металлоёмкостью и стоимостью, повышенной производительностью, универсальностью, возможностью применения на полях со склонами, а также экологической безопасностью.

***Ключевые слова**:* дождеватель шланговый, культуры сельскохозяйственные, конструкция, применение по назначению, особенности.

AGRICULTURAL HOSE SPRINKLER CULTURES: FEATURES OF ITS CONSTRUCTION AND INTENDED USE

V.N. Khabardin, V.V. Palvinsky

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. In recent years, the development of irrigated areas in Russia has been hampered by the lack of new experimental and design developments in sprinkler machines due to the significant share of foreign equipment. In this regard, the most important issue for the development of irrigated agriculture in our country is to provide agricultural producers with domestic sprinkler equipment that is on par with the most advanced models of foreign production in terms of its characteristics. It seems possible to create such developments based on new technical solutions, followed by their refinement (improvement) in the process of developing prototype models and their experimental testing (research) under laboratory and production conditions. Therefore, at present, the Irkutsk State Agrarian University (at the Faculty of Engineering) has already developed a range of new technical solutions at the level of inventions. In particular, a hose sprinkler for agricultural crops has been proposed at the level of inventions. This article is devoted to the features of its design and intended use. It has been established that the proposed sprinkler has improved operational properties: low metal consumption and cost, increased productivity, versatility, the ability to be used on fields with slopes, and environmental safety.

***Key words**:* hose sprinkler, agricultural crops, design, intended use, features.

В настоящее время на орошаемых землях, которые не превышают 1/5 части мировой площади пашни, выращивается около 40 % продукции растениеводства. Выход продукции в 2-5 раз выше с орошаемого гектара. При этом в 2-3 раза увеличиваются производительность труда, эффективность использования природных и материально-технических ресурсов. В России орошаемые земли дают от 10 до 20 % всего урожая и составляют они менее 5 % площади пашни. Сегодня до 80 % овощей и 20 % кормов производятся на орошаемых землях [1]. Фактором риска развития орошаемых площадей в России является отсутствие новых опытно-конструкторских разработок по дождевальным машинам при наличии значительной доли иностранной техники. В связи с этим важнейшим вопросом

развития орошаемого земледелия в нашей стране является обеспечение сельскохозяйственных товаропроизводителей отечественной дождевальной техникой, не уступающей по своим характеристикам передовым образцам иностранного производства [2]. Создание таких разработок представляется возможным на базе новых технических решений с последующим их уточнением (совершенствованием) в процессе разработки опытных образцов и их экспериментальной проверки (исследования) в лабораторных и производственных условиях. Поэтому в настоящее время в Иркутском ГАУ (на инженерном факультете) уже создана линейка новых технических решений на уровне изобретений [3, 4, 5, 6, 7].

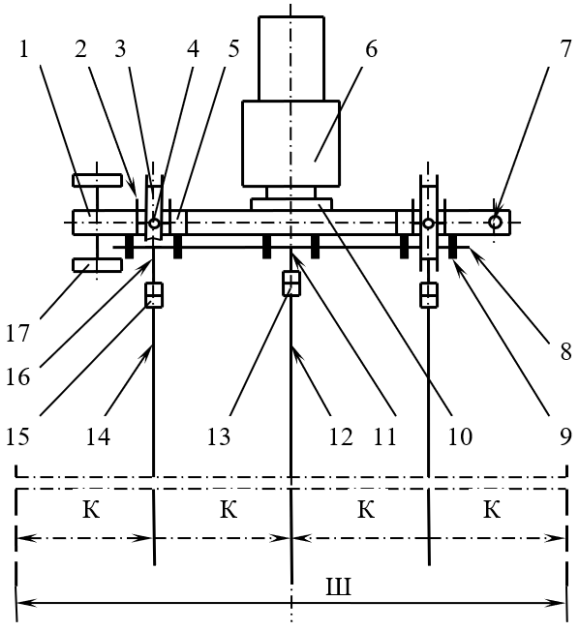
Задача этих изобретений – улучшение эксплуатационных свойств: снижение металлоемкости и стоимости, повышение производительности, универсальность, возможность применения на полях со склонами, а также обеспечение экологической безопасности.

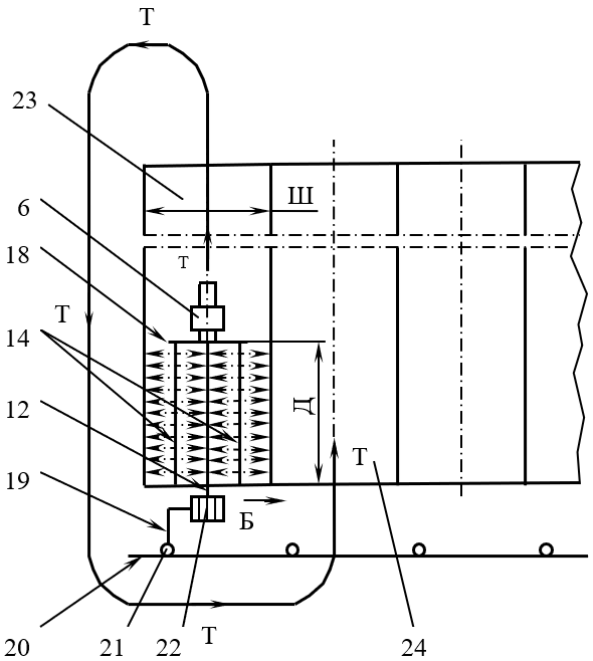
В основу их создания положен известный и наиболее распространенный шланговый дождеватель барабанного типа (ШДБТ), который подключают к гидранту оросительной сети, используя гибкий рукав с быстроразъёмными соединениями. Затем рукав разматывается с барабана с помощью трактора, в движении по направлению к краю участка. По окончании размотки шланга на наконечник штатива устанавливается дождевальный аппарат и открывается гидрант оросительной сети – вода поступает в дождевальный аппарат и осуществляется полив сельскохозяйственной культуры дождеванием [8, 10].

На первом этапе нами созданы изобретения на шланговый дождеватель сельскохозяйственных культур и продольно-шланговый способ их дождевания в движении [3, 4]. При этом в качестве прототипа была принята машина для полива дождеванием и по бороздам, включающая установленную на транспортное средство двухконсольную ферму с водопроводящим поясом, оснащённым дождевальным аппаратом, и водоподводящим узлом, сообщенным с названным поясом [9].

Предложенный нами шланговый дождеватель сельскохозяйственных культур (рисунок 1) включает в себя установленную на транспортное средство (трактор) двухконсольную ферму с водопроводящим поясом, оснащённым дождевальным аппаратом, и водоподводящим узлом, сообщенным с названным поясом. Ферма выполнена в виде двухконсольного бруса 1 с автосцепом 10. Водопроводящий пояс – в виде водораспределительной трубы 8 с подводной трубой 11 и отводными трубами 16. Труба 8 жёстко присоединена к брусу 1 своей боковой поверхностью посредством кронштейнов 9, причём параллельно ему и таким образом, что её середина совпадает с линией симметрии трактора 6. Свободные концы трубы 8 герметично закрыты заглушками (не показано). Дождевальный аппарат выполнен с возможностью рассеивания струй воды по поверхности поливаемой полосы (на рисунке вверху она обозначена штриховыми линиями, внизу – позицией 23) в виде дождевых капель в направлении (показано штрихпунктирными стрелками), перпендикулярном его перемещению, причём как слева, так и справа от продольной линии симметрии поливаемой полосы и с охватом площади орошения вдоль этой полосы на длину Д, превышающую ширину

захвата Ш дождевального аппарата. При этом дождевальный аппарат выполнен, по крайней мере, из двух поливных плоских шлангов 14, с возможностью их герметичного соединения с водораспределительной трубой 8 в точках, отстоящих от середины этой трубы 8 на расстоянии, равном максимальной дальности полёта дождевых капель К, и размещения свободных концов шлангов 14 на поверхности поливаемого участка, причём вдоль его линии симметрии. На каждом шланге 14, в его верхней части, образованы радиальные отверстия в шахматном порядке в три ряда, один из которых серединный, два другие боковые, размещенные симметрично слева и справа от серединного ряда (не показано). Оси вращения отверстий серединного ряда лежат в вертикальной плоскости, проходящей через ось вращения шланга 14. Оси вращения отверстий каждого бокового ряда лежат в наклонной плоскости, проходящей через ось вращения шланга 14 и образующей с горизонтальной плоскостью острый угол α. Отверстия боковых рядов смещены в продольном направлении относительно отверстий серединного ряда на половину (L / 2) расстояния L между осями вращения двух смежных отверстий ряда. Свободные концы шлангов 14 закрыты заглушками и оснащены фиксаторами в виде отрезка полосы (не показано), один конец которой присоединён к названному концу шланга 14, а на свободном конце полосы выполнено отверстие (не показано). Длина шлангов 14 превышает ширину захвата Ш дождевального аппарата. Шланги 14 герметично присоединены к отводным трубам 16 посредством быстроразъёмных муфт 15. Кроме того, дождеватель дополнительно содержит катушки 3, выполненные с возможностью наматывания на них шлангов 14. Число катушек 3 равно числу шлангов 14. При этом каждая катушка 3 оснащена устройством (например, быстроразъёмной полумуфтой 4, являющейся составной частью муфты 15) с возможностью присоединения к ней переднего конца шланга 14 – до наматывания и устройством (например, жёстко присоединённой к одной из боковин катушки 3 шпилькой с гайкой под отверстие





1 – Брус; 2 – Кронштейны катушки; 3 – Катушки; 4 – Устройство присоединительное; 5 – Мотор-редуктор; 6 – Трактор; 7 – Дышло; 8 – Коллектор; 9 – Кронштейны коллектора; 10 – Автосцеп; 11 – Подводная труба; 12 – Шланг подводной; 13, 15 – Муфты присоединительные; 14 – Шланг поливной; 16 – Отводная труба; 17 – Шасси; 18 – Дождевальный аппарат; 19 – Рукав для подачи воды к барабану; 20 – Оросительная сеть; 21 – Гидранты; 22 – Барабан; 23 – Поливаемая полоса; 24 – Смежная поливаемая полоса.

Рисунок 1 – **Шланговый дождеватель сельскохозяйственных культур (вверху) и технологическая схема его применения (внизу)**

полосы, размещённой на конце шланга 14, – не показано) с возможностью присоединения к катушке 3 свободного конца шланга 14 – после наматывания его на катушку 3, а также мотор-редуктором 5 с гидравлическим приводом, скоммутированным с гидросистемой транспортного средства (не показано).

Катушки 3 установлены на брусе 1 посредством кронштейнов 2 и таким образом, что их оси вращения лежат на одной линии, параллельной продольной оси симметрии бруса 1, а плоскость вращения каждой катушки 3, проходящая через середину её оси вращения, лежит в вертикальной плоскости, проходящей через ось вращения каждого шланга 14. Рабочая ширина катушек 3 больше половины длины окружности шланга 14 на 5-10 мм. Водоподводящий узел выполнен в виде водоподводящего шланга 12, один конец которого герметично присоединён к середине водораспределительной трубы 8 (к подводной трубе 11) посредством быстроразъёмной муфты 13, а другой намотан на барабан 24 и герметично присоединён к гидранту 23 оросительной сети 22. Кроме того, один из свободных концов бруса 1 выполнен с образованием дышла 7. С его стороны, со смещением к продольной линии симметрии, размещено опорное устройство в виде стойки, шарнирно присоединённой к брусу (не показано), а на противоположном конце бруса размещено шасси 17. При этом шасси 17 и опорное устройство обеспечивают возможность подготовки дождевателя к транспортированию, а дышло 7 и шасси 17 обеспечивают возможность транспортирования дождевателя к месту работы и обратно.

Дождеватель используют по назначению следующим образом. После транспортирования дождеватель переводят в рабочее положение. Для этого стойку опорного устройства (не показано) отводят от бруса 1 – выдвигают вперед в сторону дышла 7. Затем механизмом навески трактора 6 опускают переднюю часть бруса 1 дождевателя на стойку опорного устройства. Выводят из зацепления дышла 7 с механизмом навески трактора 6, извлекая из названного соединения шкворень. После чего трактор 6 навешивает дождеватель на механизм навески при помощи автосцепа 10. Приподняв механизмом навески дождеватель на 5-10 см от поверхности грунта, подводят шасси 17 к брусу 1 вращением рукоятки, присоединенной к винту (не показано); подводят стойку к брусу 1 и её свободный конец фиксируют с ним (не показано). После этого дождеватель готов к работе.

Принцип работы представленного дождевателя состоит в следующем. Трактор 6 с присоединённым к нему дождевателем 18 заходит на поливаемую полосу 23 со стороны оросительной сети 20 и останавливается на переднем крае полосы 23. В это время отсоединяют концы шлангов 14 от боковин катушек 3: свинчивают гайки со шпилек, с которых затем снимают полосы, закреплённые на концах шлангов 14 (не показано). При помощи Г-образных фиксаторов концы шлангов 14 пришпиливают к грунту – пропускают фиксаторы через отверстия в полосах шлангов 14, которые затем вбивают в грунт. При этом фиксаторы пришпиливают в точках, отстоящих от линии симметрии поливаемой полосы 23 влево и вправо на величину К. Линию симметрии поливаемой полосы находят, отмеряя от левого или правого края участка в перпендикулярном направлении к предполагаемой линии симметрии отрезок, равный удвоенному значению К – максимальной дальности полёта дождевых капель.

После этого к переднему краю полосы 23 транспортируют, например, трактором барабан 22 и устанавливают его с возможностью присоединения к нему свободного конца рукава 19 гидранта 21. Присоединяют рукав 19 к барабану 22, подводной шланг 12 – к подводной трубе 11 посредством муфты 13. Включают гидропривод мотор-редуктора 5 в положение, обеспечивающее разматывание шлангов 14, и начинают движение трактора 6 вперед по линии симметрии участка. Трактор 6 останавливают и выключают мотор-редуктор 5 в тот момент, когда шланги 14 полностью смотаются с катушек 3. Шланги 14 отсоединяют от катушек 3 и присоединяют их к отводным трубам 16 посредством присоединительных муфт 15. Затем отключают мотор-редуктор 5 и вынимают фиксаторы из грунта. В результате трактор 6 с дождевальным аппаратом 18 установлен в исходное рабочее положение. Открывают гидрант 21: вода под давлением поступает через рукав 19 к барабану 22 и далее через рукав 12 и подводную трубу 11 – в водораспределительную трубу 8, а из неё через отводные трубы 16 – в полости шлангов 14. Под действием давления воды шланги 14 из плоской формы переходят в круглую. Отверстия в них занимают заданное положение. Вода пропускается через эти отверстия с образованием струй, которые затем рассеиваются по поливаемой поверхности в виде дождевых капель в направлении, перпендикулярном продольной линии симметрии поливаемой полосы 23

(дождевального аппарата 18), причём как слева, так и справа от неё, что на рисунке внизу показано стрелками со штрихпунктирными линиями. В этом положении трактора 6 и дождевального аппарата 18 осуществляется полив в течение 2-3 мин части поливаемой полосы 23, сопряженной с ее передней линией, причем с охватом площади орошения вдоль полосы 23 на длину, равную длине Д шлангов 14. После чего трактор 6 начинает движение и движется с заданной скоростью вперед (показано стрелкой с буквой «Т») – по линии симметрии поливаемой полосы 23. Одновременно с этим разматывается с барабана 22 шланг 12, из шлангов 14 выпускаются струи воды и рассеиваются в направлении, перпендикулярном перемещению шлангов 14, причём как слева, так и справа от продольной линии симметрии поливаемой полосы 23 и с охватом площади орошения вдоль этой полосы 23 на длину, равную длине шлангов 14. Длина этих шлангов 14 может быть различной, однако для обеспечения производительности дождевальной машины она должна быть больше ширины Ш захвата дождевального аппарата 18.

При достижении дождевальным аппаратом 18 противоположной стороны поливаемой полосы 23 трактор 6 также останавливается на 2-3 мин – осуществляется полив части поливаемой полосы 23, сопряжённой с названной стороной. Затем отключают гидрант 21 – подача воды к дождевальному аппарату 18 (шлангам 14) прекращается, отсоединяют шланг 12 от трубы 11 и приводят в обратное вращение барабан 22 – шланг 12 наматывается на него до заданного исходного положения. Одновременно с этим шланги 14 отсоединяют от труб 16 и их отсоединенные концы посредством полумуфт присоединяют к полумуфтам 4 катушек 3, включают мотор-редуктор 5 и наматывают шланги 14 на катушки 3. При наматывании шлангов 14 на катушки 3 вода из их полостей выжимается (вытекает) через отверстия на поверхность поливаемой полосы 23. В результате шланги 14 из круглой формы преобразуются в плоскую форму в виде ленты. В завершение этой операции мотор-редуктор 5 отключают, свободные концы шлангов 14 присоединяют к катушкам 3. Для этого свинчивают гайки со шпилек, жестко присоединенных к боковинам катушек 3 (не показано), на эти шпильки устанавливают полосы, размещенные на конце шлангов 14, посредством отверстий в них (не показано), после чего на шпильки навинчивают гайки. Полив полосы 23 завершён. Далее трактор 6 выходит на поворотную полосу, поворачивается на 180 градусов и движется в обратном направлении по дороге, близлежащей с обработанной полосой 23, и заходит на смежную поливаемую полосу 24 – устанавливается на ней аналогичным образом, как и на поливаемой полосе 23. После этого к переднему краю полосы 24 транспортируют также трактором барабан 22 и выполняют все последующие операции, как и при обработке полосы 23.

После полива дождеватель переводят в транспортное положение.

Для этого сначала выполняют все операции, предусмотренные после прохода дождевателем поливаемой полосы 23: отключают гидрант 21, наматывают шланг 12 на барабан 22, а шланги 14 – на катушки 3, концы шлангов 14 присоединяют к катушкам 3.

Далее, приподняв дождеватель механизмом навески трактора, отводят от бруса 1 стойку опорного устройства – выдвигают её вперед в сторону дышла 7; опускают шасси 17 до касания колес поверхности грунта. Затем механизмом навески трактора 6 опускают дождеватель: передняя часть бруса 1 устанавливается на стойку опорного устройства, задняя удерживается на шасси 17, автосцеп 10 рассоединяется. Трактор 6 перемещают к передней части балки 1 – к дышлу 7, посредством которого присоединяют дождеватель к механизму навески трактора 6. Дождеватель готов к транспортированию.

На основе приведённого описания конструкции дождевателя и его применения по назначению представляется возможным выявить следующие их особенности, касающиеся улучшения эксплуатационных свойств дождевателя.

Снижение металлоёмкости и стоимости обусловлено простотой конструкции дождеобразующего аппарата, основу которой составляют широко известные пожарные рукава, выпускаемые массово отечественными товаропроизводителями.

Повышение производительности возможно в 4-5 раз в сравнении с иностранными аналогами, что достигается за счёт увеличения рабочей скорости агрегата, а также за счёт снижения трудоемкости выполнения подготовительно-заключительных работ.

Универсальность: машина может быть использована при дождевании всех видов овощных культур и, кроме того, пастбищ.

Возможность применения дождевателя на полях со склонами обусловлена тем, что дождевание осуществляется перпендикулярно перемещению рукавов вдоль обрабатываемой полосы (по флангам).

Экологическая безопасность: процесс дождевания протекает природоподобным образом – в виде дождевых капель.

Таким образом, предложенный дождеватель обладает улучшенными эксплуатационными свойствами: малой металлоёмкостью и стоимостью, повышенной производительностью, универсальностью, возможностью применения на полях со склонами, а также экологической безопасностью.

Список литературы

1. Проведение исследований, разработка технологии дождевания с переменной интенсивностью дождя и подготовка технических предложений на модули системы с переменной интенсивностью дождя [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://Apknet.ru/Texnologii-dozhdevaniya/. Дата обращения: 04.09.2026.

2. Аналитические исследования перспектив развития техники орошения в России: Информационно-аналитическое издание. – М. : Коломна : ИП Лавренов А.В., 2020. – 128 с.

3. Пат. 2819243 Рос. Федерация, A01G 25/09 (2006.01). Шланговый дождеватель сельскохозяйственных культур / *Хабардин В.Н., Зеленский В.Я., Поляков Г.Н.*; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. - № 2023117357; заявл. 29.06.2023; опубл. 15.05.2024, Бюл. № 14.

4. Пат. 2819244 Рос. Федерация, A01G 25/09 (2006.01). Продольно-шланговый способ дождевания сельскохозяйственных культур в движении / *Хабардин В.Н., Зеленский В.Я.*; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение Высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. - № 2023117358; заявл. 29.06.2023; опубл. 15.05.2024, Бюл. № 14.

5. Пат. 2859449 Рос. Федерация, A01G 25/09 (2006.01). Продольно-шланговый способ дождевания сельскохозяйственных культур / *Хабардин В.Н., Зеленский В.Я., Пальвинский В.В.*; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. - № 2024134991; заявл. 20.11.2024; опубл. 02.04.2026, Бюл. № 10.

6. Пат. 2859460 Рос. Федерация, A01G 25/09 (2006.01). Шланговая поливная машина / *Хабардин В.Н., Зеленский В.Я., Агафонов С.В., Пальвинский В.В*.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. - № 2024118842; заявл. 04.07.2024; опубл. 02.04.2026, Бюл. № 10.

7. Пат. 2866391 Рос. Федерация, A01G 25/09 (2006.01). Продольно-шланговый способ полива сельскохозяйственных культур / *Хабардин В.Н., Зеленский В.Я., Пальвинский В.В*.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. - № 2024118840; заявл. 04.07.2024; опубл. 20.07.2026, Бюл. № 20.

8. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.

9. А. с. СССР № 606567, A01G 25/09 (2006.01). Машина для полива дождеванием и по бороздам / Афанасьев В.М. [и др.]; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации и техники полива. - № 2097936; заявл. 17.01.1975; опубл. 15.05.1978.

10. Режим орошения, способы и техника полива овощных и бахчевых культур в различных зонах РФ : Руководство. – М. : Россельхозакадемия, 2010. – 82 с.

Сведения об авторах

Хабардин Василий Николаевич – заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения инженерного факультета Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел.: 89500809286, e-mail: HabardinV@mail.ru).

Пальвинский Виктор Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89025449794, e-mail: kvenbox@mail.ru).

Information about authors

Habardin Vasilij N. – honored inventor of the russian federation, doctor of technical sciences, professor of chair of operation of machine and tractor park and health and safety of engineering faculty. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89500809286, e-mail: HabardinV@mail.ru).

Palvinsky Viktor V. – candidate of technical sciences, ass. prof. of the department of technical of the engineering faculty, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89025449794, e-mail:kvenbox@mail.ru).

УДК 631.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИЛОВЫХ ВЕЛИЧИН, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА В ПОВОРОТЕ ПРИ УСТАНОВКЕ ДОГРУЖАЮЩЕ-РАСПРЕДЕЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Д.С. Шишлов, Д.В. Беляков, В.А. Чуванов, А.А. Бутенко, Е.Е. Кузнецов

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет
Благовещенск, Россия

Аннотация. При выполнении транспортных операций и движении по пересечённой местности, из-за неконтролируемого перераспределения сцепного веса между звеньями агрегата под воздействием неустановившегося характера движения, погодных условий и переменного рельефа возникают горизонтальные амплитудные колебания в звене «Автомобиль-прицеп», приводящие к ухудшению тягово-сцепных, скоростных и тормозных характеристик транспортного средства.

В статье приводится схема перспективного устройства по патенту РФ на изобретение № 2855198, стабилизирующего движение автопоезда и предлагается расчёт сил, действующих на самосвальный прицеп 2ПТС-8 при повороте автопоезда.

Ключевые слова: автопоезд, тягово-сцепное устройство, боковая сила, дышло, самосвальный прицеп 2ПТС-8, боковая сила.

MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF FORCE VALUES ACTING ON THE STRUCTURAL ELEMENTS OF A TRANSPORT UNIT IN A TURN WHEN A LOAD-DISTRIBUTING DEVICE IS INSTALLED

D.S. Shishlov, D.V. Belyakov, V.A. Chuvanov, A.A. Butenko, E.E. Kuznetsov

FSBEI HE Far Eastern state agrarian university
Blagoveshchensk, Russia

Annotation. When carrying out transport operations and moving across rough terrain, uncontrolled redistribution of traction weight between the components of the unit occurs due to the unsteady nature of the movement, weather conditions, and variable terrain. This leads to horizontal amplitude oscillations in the “Vehicle-trailer” component, which result in a deterioration of the vehicle’s traction-adhesion, speed, and braking characteristics. The article presents a diagram of a promising device protected by Russian Patent for Invention No. 2855198, which stabilizes the movement of a road train, and offers a calculation of the forces acting on the dump trailer 2PTS-8 when the road train turns.

Key words: road train, traction-coupling device, lateral force, drawbar, dump trailer 2PTS-8, lateral force.

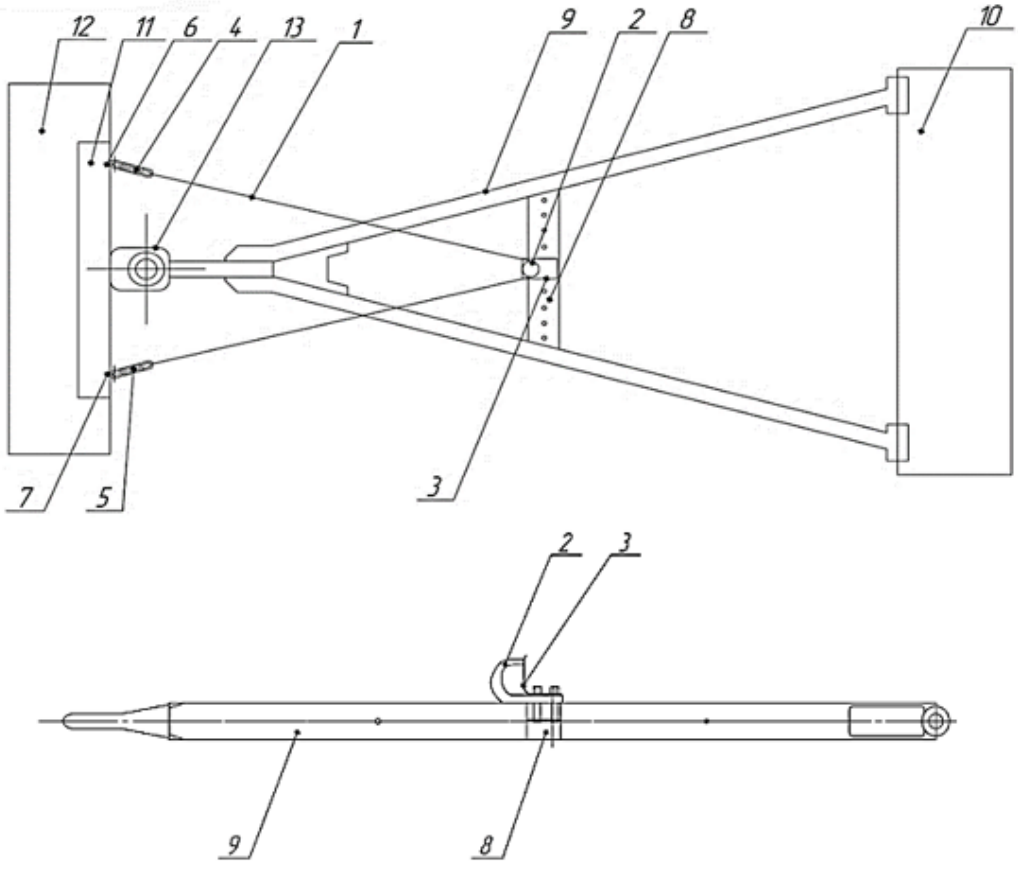
Современное развитие конструкций автопоездов определяется постоянным увеличением требований к безопасности и эффективности как автотранспортных, так и перевозочных средств [1]. В связи с чем совершенствование известных систем автопоездов, с целью достижения более высоких технологических параметров в движении является важной и актуальной задачей,

позволяющей провести модернизацию с минимальными материальными затратами в производственных условиях.

Проводимые исследования показывают, что во время работы автопоезда, под воздействием неустановившегося характера движения, погодных условий, состояния дорожного покрытия и переменного рельефа [2], происходит неконтролируемое перераспределение сцепного веса между звеньями агрегата, что в совокупности увеличивает амплитудность горизонтальных колебаний в звене «Автомобиль-прицеп» и ведёт к снижению управляемости, уменьшению тягово-сцепных, скоростных и тормозных характеристик автопоезда.

Техническим решением данной проблемы является установка стабилизирующего, догружающе-распределяющего устройства по патенту РФ № 2855198 С1, которое обеспечивает перераспределение вертикальной нагрузки между элементами автопоезда и стабилизацию движения звеньев автопоезда [3].

В целях теоретического обоснования технологических характеристик и поиска оптимальных режимов движения транспортного агрегата с установленным догружающе-распределяющим устройством [4] произведём расчёт сил, действующих на самосвальный прицеп 2ПТС-8 при повороте автопоезда.



1 – Тросовая силовая связь; 2 – Крюк; 3 – Фиксатор; 4, 5 – Пружина растяжения; 6, 7 – Рым-болт; 8 – Горизонтальная траверса; 9 – Дышло; 10 – Прицеп; 11 – Рама (остов); 12 – Автомобиль (трактор); 13 – Тягово-сцепное устройство.

Рисунок 1 – **Схема устройства для стабилизации траектории движения колёсного агрегата**

В качестве исходных параметров используются: снаряжённая масса – 2160 кг, грузоподъёмность – 8000 кг (итого полная масса $m = 10160$ кг), длина дышла $L_д = 2{,}5$ м, предусмотренный радиус поворота $R = 10$ м.

Для корректного сравнения расчёты выполнены для двух скоростей движения:

Вариант 1: Максимальная скорость 40 км/ч ($v \approx 11{,}11$ м/с).

Вариант 2: Рекомендуемая манёвренная скорость 20 км/ч ($v \approx 5{,}56$ м/с).

Коэффициент сопротивления перекатыванию $K_п = 0{,}15$.

Коэффициент жёсткости сцепки $C_\delta = 300\,000$ Н/рад.

Расчёт при скорости 40 км/ч

Этот вариант соответствует вашим исходным вычислениям, но с исправлением единиц измерения в итоговых значениях.

Расчёт тягового сопротивления производим по формуле:

$$F_{тяг} = P \cdot K_п, \quad (1)$$

где P – суммарный вес прицепного агрегата (кг);

$K_п$ – коэффициент сопротивления перекатыванию.

$$F_{тяг} = 10160 \cdot 0{,}15 = 1524 \text{ Н}.$$

Допустимый увод дышла вычисляем по формуле:

$$A = \frac{1}{10} L_д, \quad (2)$$

где $L_д$ – длина дышла прицепа.

$$A = \frac{2{,}5}{10} = 0{,}25 \text{ м}.$$

Это конструктивный предел смещения шарнира.

Боковая сила от центробежной силы:

$$F_{бок} = \frac{m \cdot v^2}{R}, \quad (3)$$

где m – масса прицепа с грузом (кг);

v – скорость движения прицепа (м/с);

R – радиус поворота (м).

$$F_{бок} = \frac{10160 \cdot 11{,}11^2}{10} = 125405 = 125{,}4 \text{ кН}.$$

Угол увода дышла рассчитываем по формуле:

$$\delta_{макс} = \frac{F_{бок}}{C_\delta}, \quad (4)$$

где C_δ – коэффициент сопротивления уводу сцепного устройства (Н/рад).

$$\delta_{макс} = \frac{125405}{300000 C_\delta} \approx 0{,}418 \text{ рад} \approx 24°. \quad (5)$$

Угол значительно превышает допустимые значения, что подтверждает опасность движения на такой скорости в повороте малого радиуса [5].

Сила увода рассчитывается по формуле:

$$F_{ув} = C_\delta \cdot \delta_{макс}, \quad (6)$$

$$F_{ув} = 300000 \cdot 0{,}418 \approx 125400 \approx 125{,}4 \text{ кН}.$$

Суммарная сила, действующая на дышло равна:

$$F_{сум} = \sqrt{F_{бок}^2 + F_{тяг}^2} \quad (7)$$

$$F_{\text{сум}} = \sqrt{(125405)^2 + (1524)^2} \approx 125414 \approx 125{,}4 \text{ кН}.$$

Суммарная сила практически равна боковой силе, так как тяговое сопротивление на их фоне незначительно.

Расчёт при рекомендуемой скорости 20 км/ч

Теперь выполним расчёт для безопасной скорости 20 км/ч ($v \approx 5{,}56$ м/с).

Тяговое сопротивление при прямолинейном движении:

$$F_{\text{тяг}} = 1524 \text{ Н}.$$

Боковая опрокидывающая сила от центробежной силы:

$$F_{\text{бок}} = \frac{10160 \cdot 5{,}56^2}{10} \approx 31405 \approx 31{,}4 \text{ кН}.$$

Снижение скорости в два раза привело к уменьшению боковой силы почти в четыре раза.

Угол увода дышла:

$$\delta_{\text{макс}} = \frac{31405}{30000010} \approx 0{,}105 \text{ рад} \approx 6^{\circ}.$$

Этот угол является более реалистичным и безопасным для эксплуатации.

Сила увода равна:

$$F_{\text{ув}} = 300000 \cdot 0{,}105 \approx 31400 \approx 31{,}4 \text{ кН}.$$

Суммарная сила, действующая на дышло, составляет:

$$F_{\text{сум}} = \sqrt{(31405)^2 + (1524)^2} \approx 31442 \approx 31{,}44 \text{ кН}.$$

Таблица 1 – **Итоговое сравнение результатов**

Параметр	**При скорости 40 км/ч**	**При скорости 20 км/ч**
Боковая сила ($F_{\text{бок}}$)	~125,4 кН	~31,4 кН
Угол увода ($\delta_{\text{макс}}$)	~24°	~6°
Суммарная сила ($F_{\text{сум}}$)	~125,4 кН	~31,4 кН

Проведённый расчёт наглядно демонстрирует критическую зависимость боковых нагрузок автопоезда от скорости движения [6]. Движение же со скоростью 40 км/ч в повороте радиусом 10 метров создаёт высокие боковые усилия (125 кН) и опасный угол увода (24°), что неминуемо приведёт к потере устойчивости и опрокидыванию.

Таким образом, соблюдение рекомендованной скорости в 20 км/ч снижает нагрузку на сцепное устройство до безопасного уровня и позволяет выполнять транспортные задачи с большей эффективностью и меньшей вероятностью к опрокидыванию.

Список литературы

1. *Алдошин, Н.В.* Стабильность технологических процессов в растениеводстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 3. – С. 5-7.

2. Детали машин и основы конструирования: учебник / *М.Н. Ерохин*, *С.П. Казанцев*, *А.В. Карп* и др.; под ред. *М.Н. Ерохина*. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Колос, 2011. - 512 с.

3. Патент № 2855198 C1 Российская Федерация, МПК B60D 1/14, B62D 53/04. Устройство для стабилизации траектории движения колёсного агрегата : заявл. 01.10.2025 : опубл. 30.01.2026 / *Е.Е. Кузнецов*, *Д.С. Шишлов*, *А.А. Бутенко* [и др.] ; заявитель Федеральное

государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». – EDN TBBXMK.

4. *Раднаев, Д.Н.* К методике проектирования технологических процессов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. - 2011. - № 1 (22). - С. 71-75.

5. Теория механизмов и машин. Анализ, синтез, расчет: учебник / *Ю.Ф. Лачуга*, *А.М. Баусов*, *А.Н. Воскресенский*, *А.М. Абалихин*; ред. Ю.Ф. Лачуга - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Колос-с, 2024 . - 417 с.

6. Ходовые системы энергетических средств и сельскохозяйственных агрегатов в зонах рискованного земледелия **:** монография / *Е.Е. Кузнецов, С.А. Шишлов, Д.Н. Раднаев, Н.Н. Бережнов, А.И. Гончарук, Е.В. Маршанин, Р.О. Сурин, А.В. Михайлов* ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. – 193 с.

Сведения об авторах

Кузнецов Евгений Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов. Дальневосточный Государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(961)9523270, email: ji.tor@mail.ru).

Шишлов Дмитрий Сергеевич – студент магистратуры. Дальневосточный государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(984)1442338, email: shishlovps@gmail.com).

Беляков Дмитрий Владимирович – соискатель, Дальневосточный государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(924)1402707, email: toyota103@mail.ru).

Чуванов Валентин Александрович – соискатель, Дальневосточный государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(996)4624032, email: chuvanov.vala@mail.ru).

Бутенко Алексей Александрович – соискатель, Дальневосточный государственный аграрный университет (675005, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86, тел.: 8(917)0197012, email: kartongenroyal@gmail.com).

Information about the authors

Kuznetsov Evgeny E. – doctor of technical sciences, professor at the department of operation and repair of transport and technological machines and complexes. Far eastern state agrarian university (86 Politekhnicheskaya st., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russia; tel.: 8(961)9523270; email: ji.tor@mail.ru).

Shishlov Dmitry S. – master's student. Far eastern state agrarian university (86 Politekhnicheskaya st., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russia; tel.: 8(984)1442338; email: shishlovps@gmail.com).

Belyakov Dmitry V. – degree applicant, Far eastern state agrarian university (86 Politekhnicheskaya st., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russia; tel.: 8(924)1402707; email: toyota103@mail.ru).

Chuvanov Valentin A. – degree applicant, Far eastern state agrarian university (86 Politekhnicheskaya st., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russia; tel.: 8(996)4624032; email: chuvanov.vala@mail.ru).

Butenko Alexey A. – degree applicant, Far eastern state agrarian university (86 Politekhnicheskaya st., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russia; tel.: 8(917)0197012; email: kartongenroyal@gmail.com).

УДК 631.365

СТРУКТУРИЗАЦИЯ И ПРИНЦИП ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗЕРНОСУШИЛОК

Ц.В. Цэдашиев, С.Н. Шуханов

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Выполнена структуризация зерносушилок по месту функционирования (стационарные и передвижные) и конструктивному устройству (шахтные, барабанные, пневмотрубные, камерные, бункерные и др.). Сформулированы основные требования, предъявляемые к современным сушилкам: сохранение качества зерна, равномерное охлаждение, минимизация травмирования, экономичность, универсальность и безопасность. Подробно рассмотрен наиболее распространённый тип – шахтные прямоточные сушилки конвективного действия, описаны их принципиальная схема, устройство основных узлов и технологический процесс. Отмечены отрицательные стороны шахтных сушилок и пути их устранения за счёт рециркуляции. Также кратко упомянуты барабанные сушилки и метод активного вентилирования как экономичная альтернатива для небольших партий зерна.

Ключевые слова: зерносушилки, структуризация, способы сушки, рециркуляция, активное вентилирование.

STRUCTURAL DESIGN AND OPERATING PRINCIPLE OF GRAIN DRYERS

Ts.V. Tsedashiev, S.N. Shukhanov

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. Grain dryers are classified by their operating location (stationary and mobile) and design (shaft, drum, pneumatic tube, chamber, hopper, etc.). The key requirements for modern dryers are formulated: maintaining grain quality, uniform cooling, minimizing injury, cost-effectiveness, versatility, and safety. The most common type – straight-through convective shaft dryers – is examined in detail, with a description of their basic diagram, the design of their main components, and the process flow. The disadvantages of shaft dryers and ways to eliminate them through recirculation are highlighted. Drum dryers and the active ventilation method are also briefly mentioned as an economical alternative for small grain batches.

Key words: grain dryers, structuring, drying methods, recirculation, active ventilation.

Обработка полученного урожая после выполнения уборочных работ имеет приоритетное значение в комплексе технологических работ по возделыванию, уборке и хранению зерновых колосовых культур. Решению актуальных проблем по их решению во многом способствуют работы учёных в этой области аграрной науки [1, 2; 5-11]. Также для успешного выполнения поставленных задач имеет техническое оснащение агропромышленного комплекса [3, 4].

По способу места функционирования зерносушилки бывают стационарные и передвижные. Стационарного типа обычно устанавливаются в специально

смонтированных строениях. Шасси специального назначения являются базой установок мобильного или передвижного типа.

Зерносушилки структурируются особенностям конструкции и выполняемому рабочему процессу: шахтные, в том числе барабанные, кроме того, пневмотрубные. Отдельную группу представляют зерносушилки специального типа. К ним относятся камерные, включая бункерные, а также конвейерные. Основной критерий различий конструкций – это используемый способ сушки зернового материала. Эти способы подразделяются на конвективный, в том числе кондуктивный и кроме того, вакуумный в среде токов высокой частоты. Также имеются радиационный, а также инфракрасный и комбинированный способы.

Технические средства под названием зерносушилки решают следующие функции:

- Снижения влажности до необходимых значений, а также не снижать качественные показатели зерна;
- После осуществления операций по сушке обеспечивать процесс охлаждения зерна до требуемых параметров;
- Минимизацию травмирования обрабатываемого материала;
- Приспособленность к работам по техническому обслуживанию, а также к процессам эксплуатации;
- Выполнение установленных норм по безопасности труда, включая противопожарные, в том числе санитарные;
- Свести к наименьшему уровню использование ручного труда;
- Оснащение оборудования, обеспечивающих не только контроль, но и регулирование процесса сушки;
- Эффективность функционирования экономичность по затратам на теплоту, электроэнергию, а также расходам по эксплуатации;
- Высокие показатели по универсальности при обработке зерна различных культур;
- Наименьшие показатели по массе и габаритным размерам в сочетании с необходимой прочностью зерносушилок мобильного типа.

Наибольшее распространение в конструкции зерносушилок получил конвективный способ реализации сушки. А именно, теплота от нагретого используемого агента сушки передаётся зерну от нагретого используемого агента сушки. Агентом сушки может быть как смесь топочных газов с воздухом, так и чистый воздух, предварительно нагретый в калориферах с помощью топочных газов.

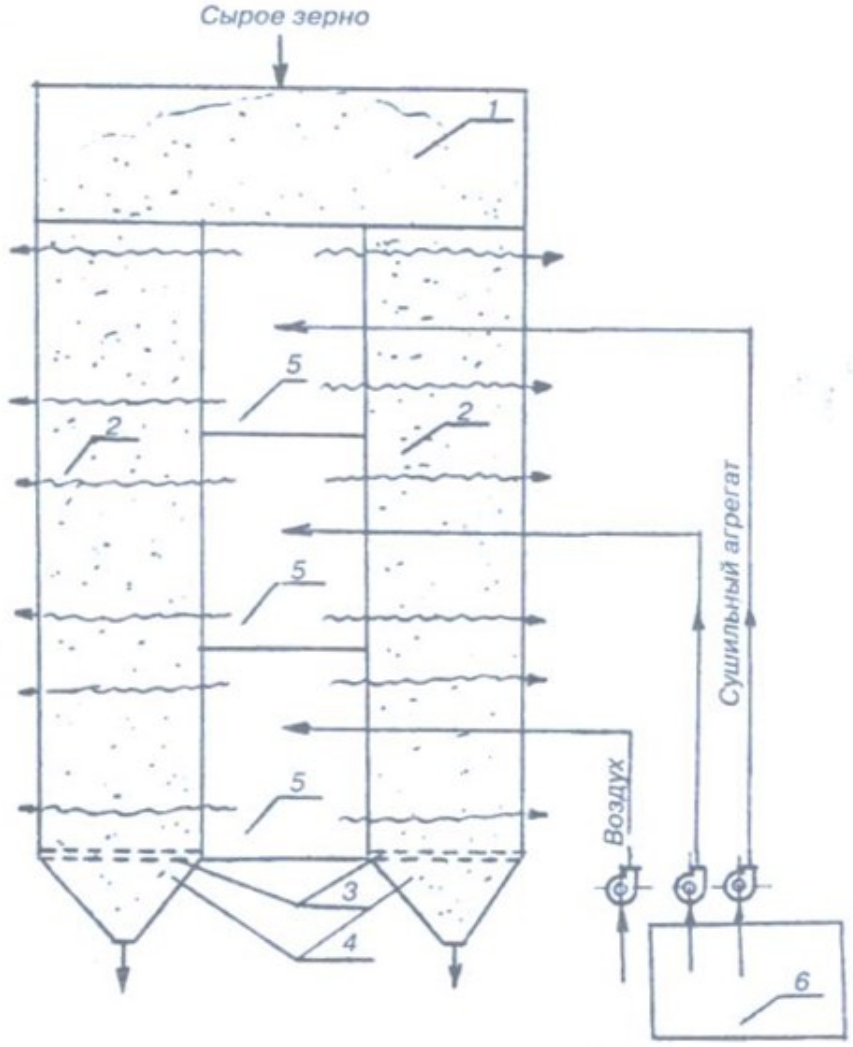
Наибольшую востребованность получили установки шахтных прямоточных зерносушилок непрерывного действия. Они актуальны для осуществления сушки широкого спектра культур: пшеница, включая рожь, в том числе ячмень, а также рис и подсолнечник. Кроме того, они применяются при обработке различных культур не только продовольственного, но и семенного назначения. В устройстве шахты зерновой материал совершает движение сверху вниз, вызванное действием силы тяжести. При этом агент сушки пронизывает его насквозь. Скорость движения зерна коррелирует с производительностью конструкции выпускного механизма.

Железобетонные или же стальные конструкции – основа стенок шахт. Показатели по производительности зерносушилок шахтного типа варьируют в широком диапазоне от 1,01 до 51,0 т/ч.

Устройство зерносушилки шахтной конструкции и схема её функционирования отражена на рисунке 1. Зерносушилка прямоточного типа состоит из одной либо двух шахт сушильно-охладительного назначения, в том числе напорно-распределительной камеры, а также механизма выпускного. Конструкция установки включает в себя бункера над и подсушильные и кроме того, оборудование для вентиляции и топочное устройство.

Шахта сушильно-охладительного типа имеет прямоугольное сечение. Заполняется она материалом для обработки до верхнего края. Функцию сушки осуществляет верхняя часть шахты. Задачу по охлаждению реализует нижняя часть шахты.

Во внутренней части шахты размещены короба рядами, расположенные в шахматном порядке. Их функция – подвод, а также отвод агента сушки (воздуха) (рисунок 2).



1 – Бункер надсушильный, 2 – Шахты сушильные, 3 – Механизмы для выпуска, 4 – Бункер подсушильный, 5 – Напорно-распределительные камеры, 6 – Топочное устройство.

Рисунок 1 – **Устройство зерносушилки шахтной конструкции и схема её функционирования**

Пространство между коробами заполняется зерном. Форма короба представляет собой канал пятигранной конфигурации. Нижняя часть короба открытая.

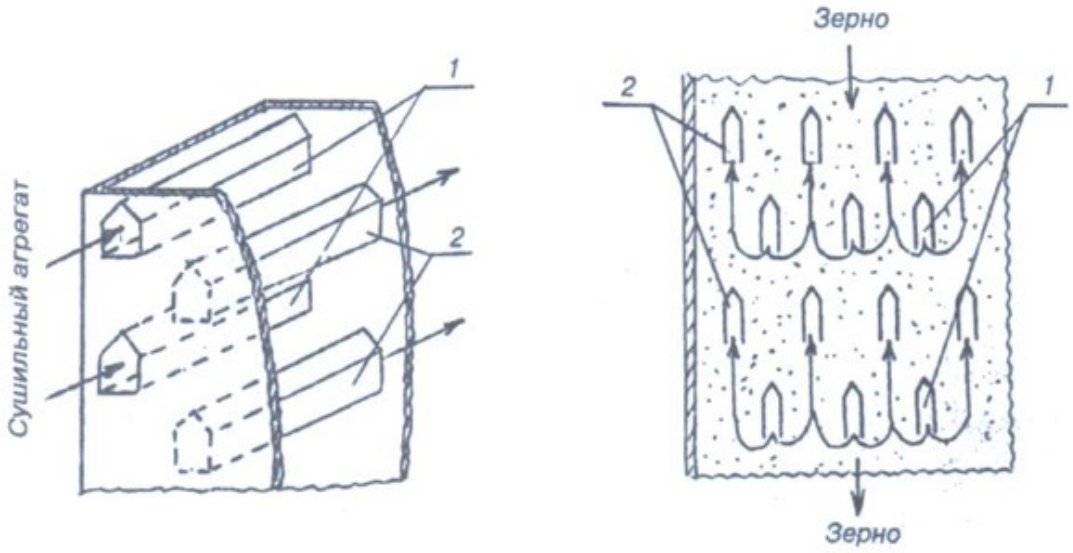
Выравнивание потоков агента сушки (воздуха) – задача напорно-распределительной камеры.

Функция бункера надсушильного заключается в подаче на постоянной основе обрабатываемого материала в сушку и кроме того, не допускать утечку из коробов верхних рядов.

Механизм выпускной монтируется под охладительной зоной и служит для выпуска обрабатываемого материала из сушильно-охладительной шахты и обеспечивает равномерное его истечение.

Оборудование для вентиляции (вентиляторы, в том числе воздуховоды) выполняют задачу подачи агента сушки либо охлаждающего воздуха в установку шахтного типа. При этом применяемые технические средства могут работать или в режиме нагнетания, или в режиме отсасывания агента сушки.

Топочное устройство зерносушилок реализует сжигание топлива, включая смешивание продуктов сгорания с атмосферным воздухом для образования агента сушки. В качестве горючего служат лишь светлые малосернистые виды жидкого топлива, а также природный газ.



1 – Коробы подводящие, 2 – Коробы отводящие.

Рисунок 2 – **Конструкция шахты зерносушилки**

Снижение влажности, например, пшеницы осуществляется с 21 до 14 %. Перечень недостатков сушилок шахтного типа: низкая равномерность процесса нагрева, невысокая степень снижения значения влажности за один пропуск – до 6 %. Задачу по интенсификации процесса сушки выполняют шахтные сушилки рециркуляционного типа.

Также имеет место быть сушилки барабанного принципа функционирования. Технически средства вентилируемых бункеров предназначены для обработки малых партий зерна продовольственного назначения и кроме того, семян масличных культур.

Одной из наиболее современных и экономичных является сушка с использованием активного вентилирования. Активное вентилирование – это специфический многофункциональный процесс.

В результате проведённых исследований выполнена структуризация зерносушилок по месту функционирования (стационарные и передвижные) и конструктивному устройству (шахтные, барабанные, пневмотрубные, камерные, бункерные и др.). Сформулированы основные требования, предъявляемые к современным сушилкам: сохранение качества зерна, равномерное охлаждение, минимизация травмирования, экономичность, универсальность и безопасность. Подробно рассмотрен наиболее распространённый тип – шахтные прямоточные сушилки конвективного действия, описаны их принципиальная схема, устройство основных узлов и технологический процесс. Отмечены отрицательные стороны шахтных сушилок и пути их устранения за счёт рециркуляции. Также кратко упомянуты барабанные сушилки и метод активного вентилирования как экономичная альтернатива для небольших партий зерна.

Список литературы

1. *Онхонова, Л.О.* Универсальное средство для послеуборочной обработки зернистых материалов / *Л.О. Онхонова*, *Г.Ф. Ханхасаев*, *И.Ю. Скрябина* // Вестник КрасГАУ. - 2018. - № 1 (136). - С. 95-100. EDN: YOSPAM.

2. *Остриков, А.Н.* Исследование процесса активного вентилирования зерна в послеуборочный период / *А.Н. Остриков*, *М.В. Копылов*, *Е.Б. Медведков*, *А.Д. Аскаров*, *Б.К. Нурахметов* // Вестник Воронежского аграрного университета. – 1922. – т. 15., № 2 (73) – С. 28-38. EDN: CQTXVJ DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_28.

3. *Поляков, Г.Н.* Состояние и тенденции технического обеспечения АПК Иркутской области / *Г.Н. Поляков*, *С.Н. Шуханов* // Известия Международной академии аграрного образования. - 2019. - № 45. - С. 52-57.

4. *Поляков, Г.Н.* Состав и изменение структуры сельскохозяйственных машин для почвообработки в Иркутской области / *Г.Н. Поляков*, *В.И. Солодун*, *С.Н. Шуханов* // Известия Международной академии аграрного образования. - 2019. - № 47. - С. 28-32.

5. Ханхасаев, Г.Ф. Техника безопасности при работе вихревой газовой сушилки / *Г.Ф. Ханхасаев*, *Т.А. Алтухова*, *С.В. Алтухов* // В сборнике: Актуальные вопросы техносферной безопасности. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. Кафедра «Промышленная экология и защита в чрезвычайных ситуациях». - 2015. - С. 139-142.

6. Ханхасаев, Г.Ф. Опытная установка вихревой газовой сушилки для зерна / *Г.Ф. Ханхасаев*, *Ц.В. Цэдашиев*, *Ц.В. Цэдашиев* // В сборнике: Новые аграрные технологии - основной фактор повышения эффективности производства. Материалы научно-практической конференции. - 2016. - С. 90-93.

7. *Цэдашиев, Ц.В.* Вихревая сушилка для зернистых материалов / *Ц.В. Цэдашиев* // Вестник ИрГСХА. - 2017. - № 79. - С. 163-167.

8. *Цэдашиев, Ц.В.* Улучшение показателей качества работы машин для послеуборочной обработки зерна / Ц.*В. Цэдашиев*, *Е.В. Елтошкина* // Тракторы и сельхозмашины. - 2019. - № 3. - С. 81-84.

9. *Цэдашиев, Ц.В.* Сушка зерновых культур / *Ц.В. Цэдашиев*, *М.К. Бураев*, *Ц.В. Цэдашиев* // В сборнике: Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК. Материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием. Молодёжный, 2021. - С. 89-95.

10. Цэдашиев, Ц.В. Интенсификация процесса сушки семян зернистых материалов / *Ц.В. Цэдашиев*, *П.И. Ильин* // В сборнике: Климат, экология, сельское хозяйство ЕВРАЗИИ.

Материалы X международной научно-практической конференции. Молодежный, 2021. - С. 100-101.

11. *Цэдашиев, Ц.В.* Применение и обслуживание зерносушильного оборудования КФХ / *Ц.В. Цэдашиев*, *А.И. Аносова*, *П.И. Ильин*, *М.К. Бураев* // В сборнике: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. материалы XI Международной научно-практической конференции. п. Молодёжный, 2022. - С. 372-379.

Сведения об авторах

Цэдашиев Цырендаши Владимирович – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел.: 89500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Шуханов Станислав Николаевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры ТО АПК Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел.: 89086546032, e-mail: shuhanov56@mail.ru).

Information about the authors

Tsedashiev Tsyrendashi V. – senior lecturer, department of operation of machinery and tractor fleets, occupational safety, and vocational training, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: 89500834583; e-mail: thedashiev@mail.ru).

Shukhanov Stanislav N. – doctor of technical sciences, associate professor, professor, department of technical support for the agro-industrial complex, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: 89086546032; e-mail: shuhanov56@mail.ru).

УДК 621.785.532

УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ С.-Х. ТЕХНИКИ МЕТОДОМ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ В МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ПЕЧИ

С.В. Агафонов, А.В. Косарева, А.И. Аносова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы упрочнения деталей методом ХТО (нитроцементации) и его технология. Повышение длительности эксплуатации упрочнённых изделий при одновременной интенсификации процесса их диффузионного насыщения с образованием слоя заданной толщины. Для этого проведена нитроцементация загрузочных камер, изготавливаемых из стали 20, с использованием имеющейся стандартной печи Ц-105.

За параметры оценки качества обработанных деталей приняты: механических свойств нитроцементированной, распределение микротвердости по толщине нитроцементованного слоя в зависимости от температуры отпука.

Ключевые слова: нитроцементация, печь Ц-105, модернизация, механические свойства, микротвёрдость, температура отпуска.

NITROTSEMENTATSIYA IZDELIY V MODERNIZIROVANNOY PECHI

S.V. Agafonov, A.V. Kosareva, A.I. Anosova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines the strengthening of components via the chemical-thermal treatment (carbonitriding) method and the associated technology. The objective is to extend the service life of strengthened components while simultaneously intensifying the diffusion saturation process to achieve a layer of a specified thickness. To this end, carbonitriding was performed on feed chambers made of Steel 20 using a standard Ts-105 furnace.

The parameters selected to evaluate the quality of the treated components were the mechanical properties of the carbonitrided material and the microhardness distribution across the carbonitrided layer as a function of tempering temperature.

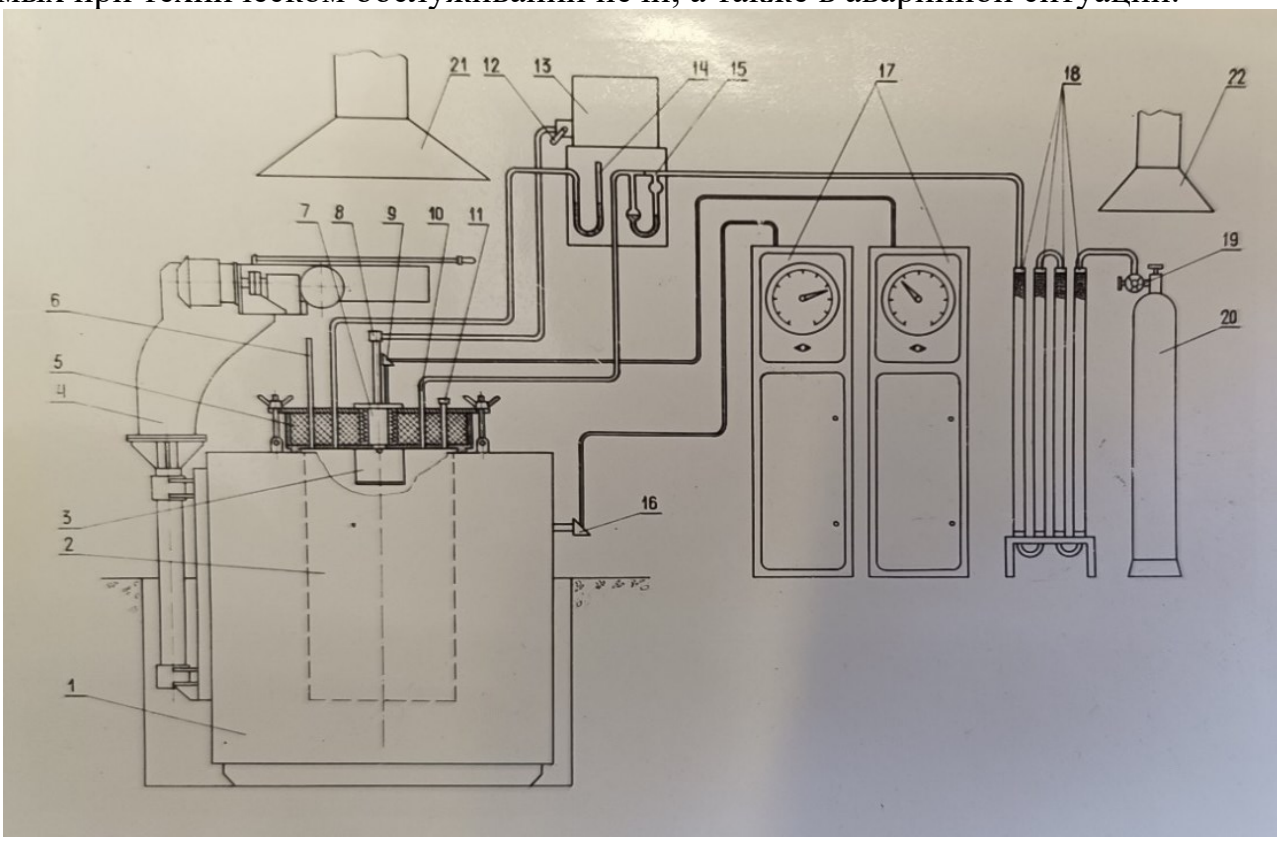
Key words: carbonitriding, C-105 furnace, modernization, mechanical properties, microhardness, tempering temperature.

Основная работа сельскохозяйственной техники приходится на период полевых работ. В это время происходит сильный износ деталей техники [1, 2, 5, 6, 9].

Повышение длительности эксплуатации упрочнённых изделий при одновременной интенсификации процесса их диффузионного насыщения с образованием слоя заданной толщины и служебными свойствами. Для этого проведена нитроцементация загрузочных камер, изготавливаемых из стали 20, с использованием имеющейся стандартной печи Ц-105. Нами разработана и усовершенствована технология нитроцементации конкретной группы изделий. Были определены оптимальные параметры процесса, а затем проверялась их корректность.

С учётом заданных условий определялось техническое направление и объём модернизации печи Ц-105 [3, 4, 7, 8].

Модернизированная печь Ц-105А, рисунок 1 может быть использована как универсальная установка для ХТО (цементации, нитроцементации, азотирования). От печи Ц-105А, не подвергнутой модернизации, она выгодно отличается повышенной ремонтопригодностью, которая обусловливается сравнительной простотой выполнения разборо-сборочных и регулировочных работ, выполняемых при техническом обслуживании печи, а также в аварийной ситуации.



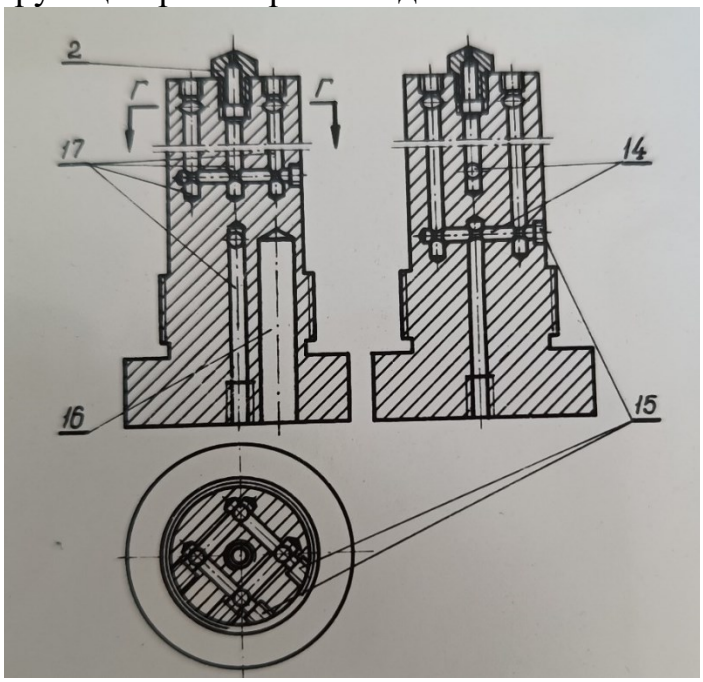
1 – Печь Ц-105А; 2 – Муфель печи; 3 – Диффезор; 4 – Подъёмник затвора; 5 – Затвор; 6 – Отводящая трубка; 7 – Дозатор; 8 – Трубка подводящая керосин; 9 – Термопара дозатора; 10 – Трубка подачи аммиака; 11 – Трубка для свидетелей; 12 – Кран; 13 – Бачёк с керосином; 14 – Водяной манометр; 15 – Аммиачный реометр; 16 – Термопара печи; 17 – Потенциометры; 18 – Очиститель; 19 – Редуктор аммиачный; 20 – Аммиачный баллон; 21, 22 – Вытяжная вентиляция.

Рисунок 1 – **Схема модернизационной установки Ц-105А для нитроцементита**

Технологическая схема процесса нитроцементации с введением в муфель керосина в парогазовом состоянии состоит из ряда последовательных операций.

Перед загрузкой в муфель детали обезжиривают в органических растворителях (например, в бензине) и в специальных моющих растворах. После обезжиривания просушенные детали загружаются в разогретый до температуры процесса муфель 2 печи I, который закрывается герметичным затвором 5, в который вмонтирован дозатор 7 с нагревателем. Из бачка 13 по трубопроводу 8 керосин подается в нагретый до 500° С дозатор, где он испаряется и частично разлагается (крекинг процесс), образуя парогазовую смесь, подающуюся под давлением через жиклер 2 (рисунок 3), впрыскивается в нагретый на 100-120° С ниже температуры процесса диффузор 3 (рисунок 2), в котором продолжается дальнейшее

разложение керосина с образованием активной насыщающей атмосферы. С целью предохранения поверхностей деталей от окисления в период их прогрева в муфель печи подаётся незначительное количество продуктов пиролиза керосина. После прогрева деталей до температуры процесса количество подаваемого керосина увеличивается до расчётного. В это же время в муфель по отдельному каналу из баллона 20 (рисунок 2) через редуктор, селикагелиевые очистители 18 и контрольно-регулирующий реометр 15 вводится аммиак.



2 – Жиклер; 14, 17 – Радиальные и осевые каналы; 15 – Заглушки каналов; 16 – Отверстие для термопары.

Рисунок 2 – **Сердечник дозатора**

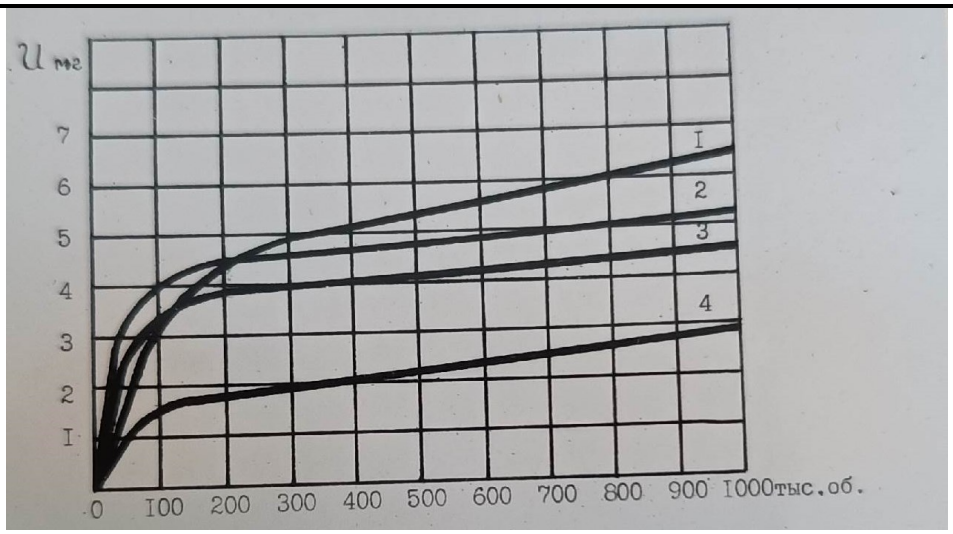
Попав в нагретый до температуры процесса муфель, аммиак диссоциирует с образованием атомарного азота, адсорбирующегося на поверхностях нитроцементируемых деталей:

$$2NH_3 \rightarrow 2N_{ат} + 3H_2.$$

Наличие в рабочем пространстве муфеля активной углеродсодержащей атмосферы способствует процессу диффузии в глубь металла не только атомам углерода, но и адсорбированным на поверхностях изделий атомам азота, образуя при этом характерный для данного процесса карбонитридный диффузионный слой, которому после соответствующей термической обработки придаются обусловленные ТУ эксплуатационные свойства.

Для оценки механических и эксплуатационных свойств нитро- цементованной стали был проведён комплекс механических испытаний на твёрдость, статический изгиб, ударную вязкость, растяжение, усталостную прочность и износостойкость. Испытывались образцы, обработанные по оптимальным режимам нитроцементации, но с различной финишной термической обработкой. Толщина слоя во всех случаях составляла 0,6 мм.

Результаты механических и эксплуатационных испытаний стали 20 нитроцементованной по оптимальным параметрам процесса, приведены на рисунках 3 и 4.



1 – 100° С; 2 – 200° С; 3 – 300°С; 4 – 400° С.

Рисунок 3 – **Распределение микротвёрдости по толщине нитроцементованного слоя на стали 20 в зависимости от температуры отпука**

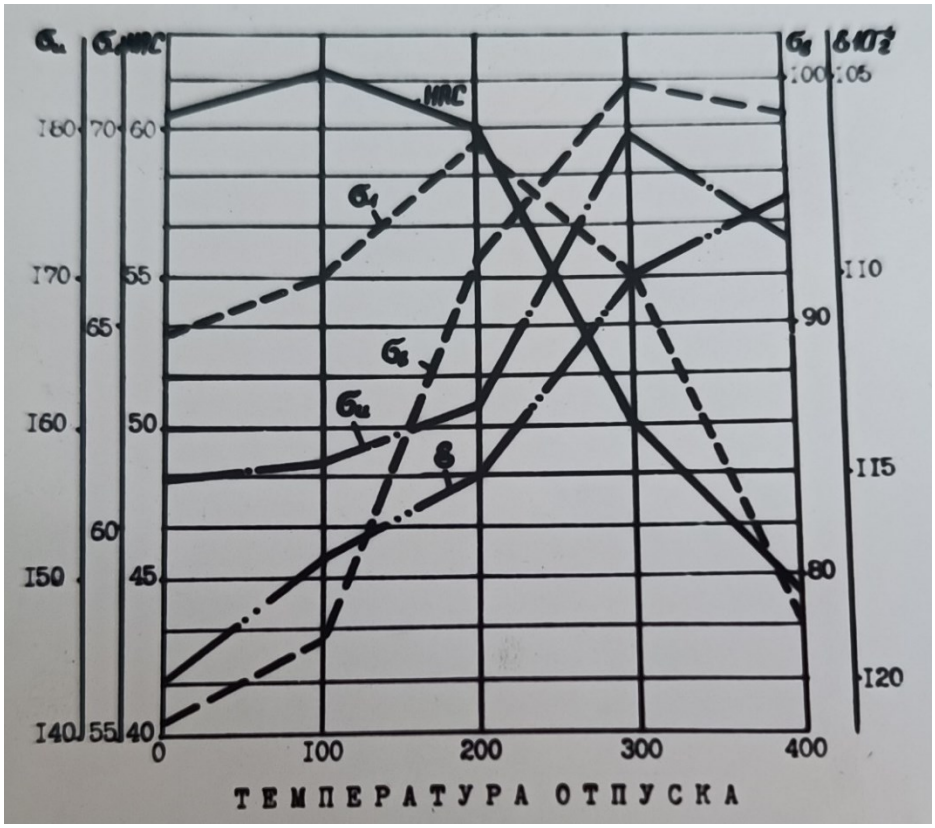


Рисунок 4 – **Зависимость механических свойств нитроцементированной стали 20 от температуры отпуска**

Комплексное исследование механических и эксплуатационных свойств стали 20, нитроцементованной по предложенной технологии, показали, что оптимальное сочетание прочностных и пластических свойств может быть достигнуто после закалки в воде от температуры процесса и последующего отпуска при температуре 200-300° С.

Полученные данные показали, что наряду с интенсификацией процесса ХТО механические и эксплуатационные свойства низкоуглеродистых

конструкционных сталей, нитроцементованных с введением в муфель керосина в парогазовом состоянии, оказались не ниже, в некоторых случаях выше, чем у аналогичных сталей, нитроцеменованных в обычных условиях.

Список литературы

1. *Алтухов, С.В.* Анализ обеспеченности техникой сельскохозяйственных организаций Иркутской области / *С.В. Алтухов, Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов* // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 62. – С. 5-8. – EDN QFBTNB.

2. *Бураев, М.К.* Повышение работоспособности тракторов в сельском хозяйстве / *М.К. Бураев, Н.И. Овчинникова, А И. Аносова, А.В. Шистеев* // Вестник ВСГУТУ. – 2015. – № 6(57). – С. 20-25. – EDN VCODXL.

3. Методология технического перевооружения и модернизации конструкций и режимов работы нагревательных и термических печей / *Г.М. Дружинин, А.А. Ашихмин, П.В. Маслов* [и др.] // Металлург. – 2020. – № 6. – С. 77-81. – EDN QWBUDU.

4. Модернизация печи для химико-термической обработки / *С.В. Агафонов, А.В. Косарева, АИ. Аносова, С. Н. Шуханов* // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2026. – № 59. – С. 8-18. – DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-8-18. – EDN XPYIZR.

5. *Поляков, Г.Н.* Состояние и тенденции технического обеспечения АПК Иркутской области / *Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов* // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 52-57. – EDN NFCLTZ.

6. Проблемы агротехсервиса в условиях Иркутской области / *А.И. Аносова, М.К. Бураев, А.В. Шистеев* [и др.] // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы X международной научно-практической конференции, Молодежный, 27-28 мая 2021 года. – Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 65-66. – EDN ZZEBHN.

7. *Ратников, П.Э.* Принципы регулирования технологических процессов в печах термической и химико-термической обработки / *П.Э. Ратников, И.А. Трусова* // Металлургия : Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Том Выпуск 42. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 70-85. – EDN CYHWDH.

8. *Ратников, П.Э.* Сравнительный анализ применения топливных и электрических печей термической и химико-термической обработки / *П.Э. Ратников, С.М. Кабишов* // Металлургия : Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Том Выпуск 42. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 116-136. – EDN QMRRIX.

9. Совершенствование процесса технического обслуживания машин в направлении ресурсосбережения и экологической безопасности / *В.Н. Хабардин, А.В. Хабардина, М.В. Чубарева* [и др.]. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – 144 с. – ISBN 978-5-91777-254-7. – EDN KVRYWG.

Сведения об авторах

Агафонов Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технический сервис и общеинженерные дисциплины инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89149024358, e-mail: agafonov38@rambler.ru).

Косарева Анна Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры ТС и ОД инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(914)9444228, email: ankosar@mail.ru.

Аносова Анна Иннокентьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры ТС и ОД инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный), тел.: 8(983)6938151, email: a.anosova@yandex.ru.

Information about the authors

Agafonov Sergey V. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of technical service and general engineering disciplines, faculty of engineering, A.A. Ezhevsky Irkutsk State Agrarian University (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, molodezhny settlement; tel.: 89149024358; e-mail: agafonov38@rambler.ru).

Kosareva Anna V. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of technical service and general engineering disciplines, faculty of engineering, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, molodezhny settlement; tel.: 8(914)9444228; e-mail: ankosar@mail.ru).

Anosova Anna I. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of technical service and general engineering disciplines, faculty of engineering, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, molodezhny settlement; tel.: 8(983)6938151; e-mail: a.anosova@yandex.ru).

УДК 621.01

НАПЛАВКА СТРЕЛЬЧАТОЙ ЛАПЫ

Е.А. Блохин, М.К. Бураев, В.А. Беломестных

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье приведены результаты поисковых исследований восстановления стрельчатой лапы методом лазерной наплавки. Отмечено, что рабочие поверхности почвообрабатывающих орудий приходят в негодность вследствие деформации или разрушения под воздействием почвенной среды, вызывая увеличение энергозатрат, снижение качества обработки почвы и производительности машин. Проведен анализ методов восстановления и применяемых материалов. Выбран способ восстановления стрельчатых лап методом лазерной наплавки, имеющий практическое значение для сельскохозяйственного производства. Полученные результаты наплавки выявили действующие факторы и показали направление дальнейших исследований данной технологии.

Ключевые слова: восстановление, лазерная наплавка, стрельчатая лапа, эксперимент, анализ, математическая модель.

HARDFACING OF A SWEEP-TYPE CULTIVATOR SHARE

E.A. Blokhin, M.K. Buraev, V.A. Belomestnykh

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article presents the results of exploratory research into the restoration of sweep-type cultivator shares using laser hardfacing. It is noted that the working parts of tillage implement fail due to deformation or fracture caused by the soil environment, leading to increased energy consumption and reduced soil tillage quality and machine productivity. An analysis of restoration methods and materials was conducted. Laser hardfacing was selected as the method for restoring sweep-type shares, a choice of practical significance for agricultural production. The hardfacing results obtained indicate the direction for further research into this technology.

Key words: restoration, laser hardfacing, sweep-type share, experiment, analysis, mathematical model.

Стрельчатые лапы культиваторов в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному абразивному износу, обусловленному воздействием твёрдых минеральных частиц почвы. Изменение геометрических размеров рабочих поверхностей приводит к ухудшению качества обработки почвы, увеличению энергозатрат и снижению производительности машинно-тракторных агрегатов [1, 2].

Для восстановления почвообрабатывающих органов сельхозмашин применяют полуавтоматические и автоматические процессы дуговой наплавки разными проволоками с различной защитой зоны горения дуги [3]. При электроконтактной наплавке используют такие наплавочные материалы, как металлические ленты, проволоки и порошки разного химического состава, как правило, содержащие следующие компоненты: высокопрочные чугуны, сплавы на основе кобальта и никеля, а также композитные материалы (карбиды хрома, вольфрама и др.) [3, 4]. Керамическими компонентами служат карбиды, оксиды, нитриды и бориды таких элементов, как вольфрам, титан, хром, алюминий и кремний. Они придают покрытию повышенную износостойкость. При разных видах напыления (электродуговой, плазменный, газотермический и детонационный) применяются материалы в виде распыляемых проволок, металлических, керамических и металлокерамических порошков (например, 60 % порошка ПР-НХ17 и 40 % ПР-Х4ГСР фракцией 40…60 мкм) и составы на основе медного порошкового высокотемпературного припоя (6-8 % флюса Ф100, 40-50 % твёрдого сплава ВК8 зернистостью 45…160 мкм) [5, 6].

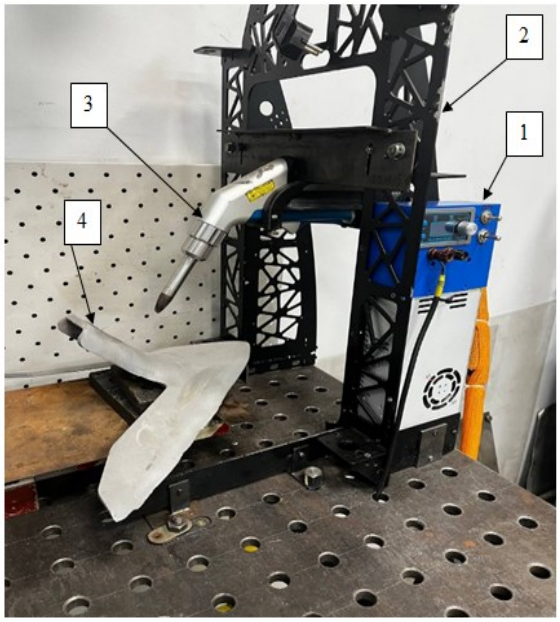
Среди существующих технологий особый интерес представляет лазерная наплавка, обеспечивающая высокое качество покрытия, минимальное тепловое воздействия на основной металл и возможность формирования поверхностных слоев с повышенной твёрдостью и износостойкостью [6].

В связи с этим разработка и исследование технологии восстановления стрельчатых лап методом лазерной наплавки является актуальной научно-технической задачей, имеющей практическое значение для сельскохозяйственного производства.

Для наплавки использовали порошок на основе никеля (45 %), кобальта (30 %), хрома (20 %), вольфрама (3 %) и кремния (2 %). В качестве легирующей добавки применялся порошок карбида бора (B_4C) с характеристиками: плотность 2,52 г/см^3, температура плавления 2350° С, температура кипения 3500° С [7, 8].

Выполнение лазерной наплавки осуществлялось с использованием оборудования, размещённого в лаборатории гибридных аддитивных технологий Иркутского национального исследовательского технического университета (ИрНИТУ). Комплекс, использованный для выполнения исследований, состоит из: оптоволоконного источника лазерного излучения *IPG LightWELD* мощностью 1500 Вт и длиной волны около 1070-1080 нм, штатива на который устанавливается горелка, перемещающегося по трём осям стола, баллона с аргоном и вытяжки.

Схему наплавки стрельчатой лапы выбирали из трёх вариантов. По первой схеме производили наплавку всего профиля лапы без колебаний излучателя. Во втором случае наплавку осуществляли за один проход с колебаниями излучателя на ширину наплавки и с началом процесса на носке лапы. По третьей схеме наплавку производили за два прохода с колебаниями излучателя. Начало процесса на носке лапы, а окончание – на этом же участке при обратном ходе излучателя с перекрытием наплавляемых слоёв. Качество наплавленных слоёв при обработке по первой схеме удовлетворительное. Недостатком является оплавление торца кромок лапы (особенно носка). По второй схеме наплавки кромки лапы оплавляются значительно меньше, однако качество наплавленного слоя не удовлетворительное. Лучшие результаты были получены при наплавке по третьей схеме, её использовали для оптимизации режимов наплавки лапы.



1 – Двухкоординатная система позиционирования; 2 – Электромеханический лифт рабочего стола; 3 – Лазерный излучатель с оптической контрольно-фокусирующей системой; 4 – Стрельчатая лапа.

Рисунок 1 – **Система автоматической лазерной сварки**

В результате поисковых исследований установлено, что наплавку стрельчатой лапы необходимо проводить с регулированием трёх параметров: мощности излучения, скорости наплавки, расхода порошка. Изменение этих параметров обусловлено сложностью профиля режущей части стрельчатой лапы. Установлено также, что другие параметры существенного влияния на процесс не оказывают.

С целью оптимизации режимов наплавки, поставлен полный факторный эксперимент (ПФЭ) 2^3 с равномерным дублированием опытов. В качестве независимых переменных выбраны: мощность излучения (W, Вт), скорость (V, мм/с), расход порошка (Q, кг/ч). Параметр оптимизации – толщина наплавленного слоя (h, мм). По результатам предварительных исследований выбраны интервалы и уровни варьирования факторов (таблица 1). Следует отметить, что уровни варьирования мощности излучения наплавки не могут быть расширены вследствие

оплавления торцев лапы, либо плохого формирования наплавляемого слоя в случае снижения мощности излучения [10].

Таблица 1 – **Уровни варьирования факторов**

Наплавляемый участок	Наименование фактора	Обозначение фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни		
					-	0	+
Носок лапы	Мощность излучения	X_1	Вт	15	1200	1215	1230
	Скорость наплавки	X_2	$\cdot 10^{-3}$ м/с	0,25	1,07	1,32	1,57
	Расход порошка	X_3	г/с	0,12	0,48	0,60	0,72
Лезвийная часть	Мощность излучения	X_1	Вт	15	1300	1315	1330
	Скорость наплавки	X_2	$\cdot 10^{-3}$ м/с	0,18	1,26	1,44	1,62
	Расход порошка	X_3	г/с	0,12	0,36	0,48	0,60

В полном факторном эксперименте постоянными оставались следующие параметры:

1. Частота лазерного пучка 15 Гц;
2. Диаметр плазмообразующего сопла – $4{,}0 \cdot 10^{-3}$ м;
3. Расход защитного газа (аргона) – $1{,}5\ldots2$ л/мин.;
5. Расстояние от излучателя до детали – $(8\ldots10) \cdot 10^{-3}$ м;

В соответствии с выбранным планом было проведено рандомизирование. Каждый опыт повторяли три раза. Результаты экспериментов представлены в таблице 3.6. Обработка результатов проведена в известной последовательности:

1. Рассчитана дисперсия опыта, проверена однородность ряда дисперсий;
2. Рассчитаны коэффициенты регрессии;
3. Проведена проверка статистической значимости коэффициентов регрессии;
4. Проведена проверка адекватности модели.

Уравнения регрессии адекватно описывают исследуемый процесс и имеют вид:

- Для носка лапы:

$$У = 1{,}66 + 0{,}09 \cdot X_1 - 0{,}13 \cdot X_2 + 0{,}14 \cdot X_3 + 0{,}08 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (1)$$

- Для лезвийной части:

$$У = 1{,}06 + 0{,}114 \cdot X_1 - 0{,}326 \cdot X_2 + 0{,}211 \cdot X_3. \quad (2)$$

Анализируя уравнения (1 и 2), можно отметить, что наибольшее влияние на толщину наплавленного слоя в выбранных интервалах варьирования оказывают скорость наплавки и расход порошка. В меньшей степени влияют мощность излучателя и совместное действие скорости и расхода порошка. В уравнении регрессии для лезвийной части коэффициент от совместного действия этих факторов статистически незначим. Наиболее оптимальными являются режимы в 6-й строке таблицы 2 как для носка лапы, так и для лезвийной части.

$$1 - W = 1200 \text{ Вт}; \; 2 - W = 1230 \text{ Вт}.$$

Таблица 2 – **План и результаты полного факторного эксперимента**

№ опыта	Уровень фактора			Для носка лапы			Для лезвийной части		
	X_1	X_2	X_3	Среднее значение параметра оптимизации $\bar{У}_i$	Дисперсия средняя S_{yi}^2	Расчётное значение параметра оптимизации $У_i^{расч}$	Среднее значение параметра оптимизации $\bar{У}_i$	Дисперсия средняя S_{yi}^2	Расчётное значение параметра оптимизации $У_i^{расч}$
1	-	-	-	1,65	0,0028	1,64	1,03	0,0108	1,06
2	+	-	-	1,78	0,0039	1,82	1,20	0,0202	1,29
3	-	+	-	1,23	0,0028	1,22	0,39	0,0458	0,41
4	+	+	-	1,40	0,0038	1,40	0,77	0,0187	0,64
5	-	-	+	1,77	0,0013	1,76	1,56	0,0051	1,48
6	+	-	+	1,92	0,0063	1,94	1,75	0,0469	1,71
7	-	+	+	1,60	0,0112	1,66	0,80	0,0039	0,83
8	+	+	+	1,89	0,0111	1,84	0,97	0,0101	1,06

Для практических расчётов уравнение регрессии более удобно в преобразованном виде. Переход от кодированных значений к натуральным осуществляется по следующим формулам:

$$X_1 = \frac{W - W_0}{\Delta W}; \quad (3)$$

$$X_2 = \frac{V - V_0}{\Delta V}; \quad (4)$$

$$X_3 = \frac{Q - Q_0}{\Delta Q}, \quad (5)$$

где W_0, V_0, Q_0 – натуральные значения независимых переменных на основных уровнях;

ΔW, ΔV, ΔQ – значение интервалов варьирования.

В результате экспериментальных исследований получена математическая модель оптимизации ($h \rightarrow h_{ОПТ}$) режимов плазменной наплавки поверхностей стрельчатой лапы:

$$h = 2,8 + 0,006 - 2,12V + 0,314Q \text{ – для носка лапы,}$$
$$h = 1,42 + 0,00761 - 1,81V + 1,76Q \text{ – для лезвийной части.} \quad (6)$$

Установлено, что наплавку стрельчатой лапы необходимо проводить с регулированием трёх параметров: мощности излучения, скорости наплавки, расхода порошка. Изменение этих параметров обусловлено сложностью профиля режущей части стрельчатой лапы. Установлено также, что другие параметры существенного влияния на процесс не оказывают. Определены схемы наплавки стрельчатой лапы из трёх вариантов. Лучшие результаты были получены при наплавке по третьей схеме за два прохода с колебаниями излучателя, её использовали для оптимизации режимов наплавки лапы. Установлено, что наибольшее влияние на толщину слоя оказывают скорость наплавки и расход порошка, а предложенные математические модели позволяют прогнозировать результаты процесса для различных участков лапы (носка и лезвийной части). Дальнейшие

исследования направлены на развитие полученных результатов и производственную проверку в хозяйствах.

Список литературы

1. *Бартенев, И.М.* Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин / *И.М. Бартенев, Е.В. Поздняков* // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3. – С. 114-123.

2. *Михальченков, А.М.* Износы культиваторных лап посевного комплекса «Моррис» / *А.М. Михальченков, С.А. Феськов* // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 10. – С. 55-58.

3. *Кашфуллин, А.М.* Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин путем нанесения износостойких покрытий дуговой металлизацией: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2017. – 157 с.

4. *Киселев, В.С.* Технологические аспекты управления процессом сверхзвуковой газопорошковой наплавки / *В.С. Киселев, Н.Н. Палаткин, М.В. Радченко* и др. // Вестник алтайской науки. – 2013. – № 2-2. – С. 227-231.

5. *Михальченков, А.М.* Восстановление стрельчатых лап / *А.М. Михальченков, С.А. Феськов, Н.А. Якушенко* // Сельский механизатор. – 2014. – № 3 (61). – С. 36-37.

6. *Поздняков, Н.А.* Анализ методов и материалов, применяемых при восстановлении стрельчатых лап сельхозмашин / *Н.А. Поздняков, С.В. Агафонов, М.К. Бураев* // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти Александра Александровича Ежевского, п. Молодежный, 20-21 ноября 2025 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 222-227. – EDN ETJXTR.

7. *Черноиванов, В.И.* Организация и технология восстановления деталей машин / *В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин, И.Г. Голубев*. – М. : Росинформагротех, 2016. – 568 с.

8. *Бураева, Г.М.* Критерии капитального ремонта технических объектов / *Г.М. Бураева, И.В. Белоусов, М.К. Бураев* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : материалы XIV Международной научно-практической конференции, посвященной 80 - летию Победы в Великой Отечественной войне, п. Молодежный, 24-25 апреля 2025 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 204-208. – EDN AJKILT.

9. *Поздняков, Н.А.* Аддитивные технологии при ремонте машин / *Н.А. Поздняков, И.Б. Егоров, М.К. Бураев* // Образование и наука : Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов и 100-летию со дня рождения первого ректора ВСГУТУ Д.Ш. Фролова, Улан-Удэ, 07-11 апреля 2025 года. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2025. – С. 87-93. – EDN JFSIVF.

10. *Багаутдинова, И.И.* Анализ математического моделирования при восстановлении рабочих органов почвообрабатывающих машин / *И.И. Багаутдинова, А.Ф. Фаюршин, Р.Р. Хакимов* // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 52-55.

Сведения об авторах

Блохин Евгений Александрович – аспирант кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(3952)237431,

Бураев Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(3952)237431, e-mail: buraev@mail.ru).

Беломестных Владимир Афанасьевич – кандидат технических наук, доцент, колледж автомобильного транспорта и агротехнологий, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(3952)237431.

Information about the authors

Blokhin Evgeny A. – postgraduate student, department of technical service and general engineering disciplines, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsky district, Irkutsk region, Russia, 664038; tel.: 8(3952)237431).

Buraev Mikhail K. – doctor of technical sciences, professor, department of technical service and general engineering disciplines, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsky district, Irkutsk region, Russia, 664038; tel.: 8(3952)237431; e-mail: buraev@mail.ru).

Belomestnykh Vladimir A. – candidate of technical sciences, associate professor, college of automotive transport and agrotechnologies, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsky district, Irkutsk region, Russia, 664038; tel.: 8(3952)237431).

УДК 546.713-31

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

[1]П.А. Болоев, [2]Е.В. Елтошкина, [2]Т.В. Бодякина

[1]ФГБОУ ВО Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова
Улан-Удэ, Россия
[2] ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье проводится анализ наноматериалов применяемых при разработке наноразмерных датчиков для газоанализаторов автотракторных двигателей. Существенное влияние на физико-химические свойства материалов оказывают размеры наночастиц материалов. Для этого необходимо подобрать на основе экспериментальных данных соответствующие материалы для разработки датчиков газоанализаторов, работающих в диапазоне температур 300-800 *К*. Многочисленные исследования показали, что модифицирование нанокристаллического диоксида олова улучшает сенсорные свойства сенсора.

Ключевые слова: диоксид олова, наночастицы, полупроводник, газоанализатор, сенсор

NANO-SCALE SENSORS FOR AUTOMOTIVE TRACTOR ENGINE GAS ANALYZERS

[1]P.A. Boloev, [2]E.V. Eltoshkina, [2]T.V. Bodyakina

[1]FSBEI HE Buryat state university named after. D. Banzarova
Ulan-Ude, Russia
[2]FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. This article analyzes nanomaterials used in the development of nanoscale sensors for automotive and tractor engine gas analyzers. The size of the nanoparticles significantly influences

the physicochemical properties of the materials. To achieve this, it is necessary to select appropriate materials based on experimental data for the development of gas analyzer sensors operating in the temperature range of 300-800 K. Numerous studies have shown that modifying nanocrystalline tin dioxide improves the sensor's sensor properties.

Key words: tin dioxide, nanoparticles, semiconductor, gas analyzer, sensor.

Одним из основных диагностических параметров при функциональном диагностировании автотракторных двигателей являются выбросы вредных веществ (ВВВ). Повышение точности замеров составляющих компонентов отработавших газов (ОГ) CO, C_xH_y, NO_x, C – дымность, является весьма актуальной, особенно при работе на разных эксплуатационных режимах [1, 2, 6].

В последнее время происходит бурное развитие нанотехнологий. Размер наночастиц принципиальным образом влияет на физико-химические свойства материалов. Поэтому при разработке датчиков газоанализаторов, работающих в диапазоне температур 300-800 K можно подобрать соответствующие материалы на основе проведённых исследователями экспериментальных данных. Нанокристаллические полупроводниковые оксиды $SnO_2, Z_nO, WO_3, Jn_2O_3$ активно изучаются в связи с созданием материалов для твёрдотельных газовых сенсоров [7, 9]. Нанокристаллический диоксид олова среди полупроводниковых оксидов имеет наибольшее практическое применение. Он является широкозонным полупроводником n – типа проводимости, чрезвычайно чувствительной к состоянию поверхности для температур 300-800 K. Поверхность диоксида олова обладает высокими адсорбционными свойствами и реакционной способностью, которые обусловлены наличием свободных электронов в зоне проводимости полупроводника, поверхностных и объёмных кислородных вакансий, а также активного хемосорбированного кислорода (рисунок 1) [8].

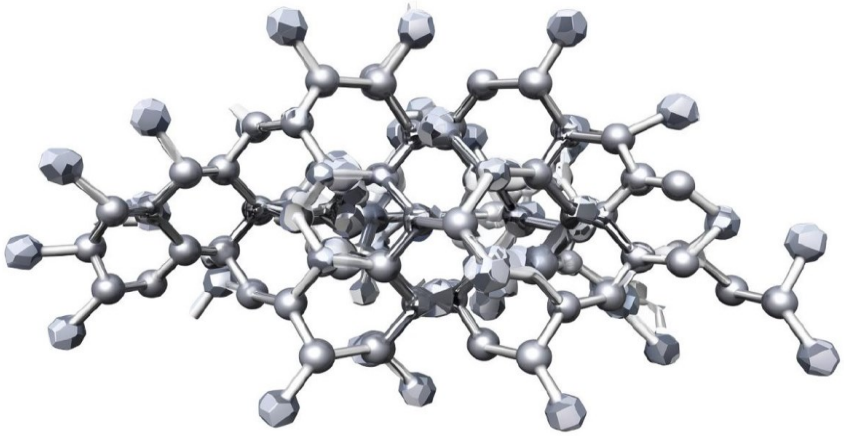


Рисунок 1 – **Структура диоксида олова**

В последнее десятилетие для использования в газовых сенсорах (датчиках) получены наноматериалы на основе полупроводниковых оксидов различной морфологии: одномерные (нанонити, нановолокна, наностержни, нанотрубки), двумерные (нанопластинки), трёхмерные (полые наносферы, декдриды). Для повышения селективности газовых датчиков является химическое модифицирование поверхности наноматериала (рисунок 2) [10].

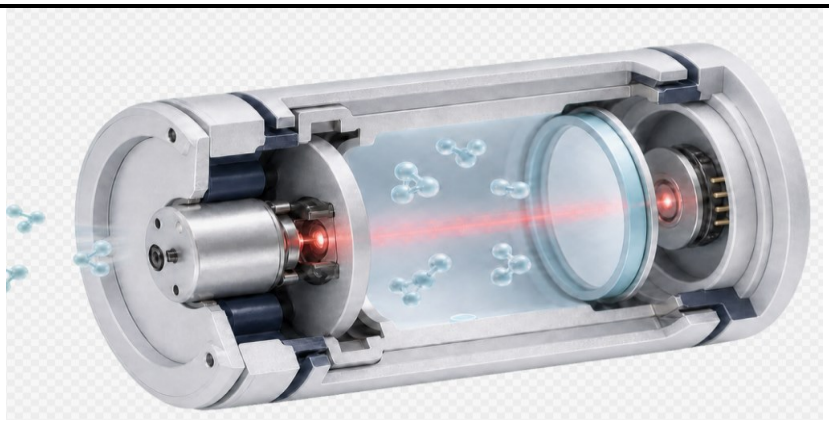


Рисунок 2 – **Наноразмерные сенсоры для газоанализаторов**

Адсорбированные формы кислорода (АФК) на поверхности диоксида олова представляют наиболее интересную группу активных центров при анализе сенсорных свойств материала. Эти активные центры, проявляющие окислительные свойства при взаимодействии с газами, являются ключевыми участниками процессов сенсорной чувствительности по отношению к газам-восстановителям при атмосферных условиях.

Адсорбция кислорода на оксиде олова экспериментально исследована многими методами – спектроскопический, ИК-спектроскопия, термосорбция и косвенными – электпроводности и работы выхода. Формирование сенсорных сигналов определены для таких газов, как CO, H_2, C_xH_y, NO_3 и т.д.

Многочисленные исследования показали, что модифицирование нанокристаллического диоксида олова улучшает его сенсорные свойства – чувствительность, селективность, время отклика и стабильность. Концепция химического модифицирования заключается в создании на поверхности полупроводниковой матрицы новых активных центров, обладающих специфической адсорбционной и реакционной способностью по отношению к газам. В результате изучения сенсорной чувствительности материалов на основе SnO_2, модифицируют благородными металлами, оксидами переходных элементов и лактанидами [4, 5].

Размеры кластеров модификатора определяются методикой модифицирования и концентрацией вводимой добавки. Основные методы синтеза нанокомпозитов оксидов с каталитическими добавками можно разделить на физические и химические – напыление в вакууме, магнетронное распыление и механохимический синтез заранее сформированных наночастиц. Наиболее распространёнными химическими методами модифицирования является пропитка и коллоидная адсорбция.

Модификаторы влияют на собственные активные центры полупроводникового оксида, кластера благородных металлов и их оксидов специфическим образом изменяют концентрацию разнородных поверхностных центров носителя, а значит и реакционную способность поверхности материала в целом. Этот эффект во многом определяет характер взаимодействия нанокомпозитов с газами и требуют оптимального модификатора и условий работы газового сенсора (датчика) [3].

Формирование сенсорного сигнала в полупроводниковом оксиде при действии газов является сложным процессом, включающим хемосорбцию молекул, их окислительно-восстановительное взаимодействие с поверхностью оксида, перераспределение электронной плотности между поверхностью и объёмом частиц оксида и перемещение электронов между ними. Выявление корреляций между величиной сенсорного сигнала и концентрации активных центров позволяет сделать выводы о механизме газовой чувствительности в той или иной системе, понимание которого необходимо для направляемого модифицирования активных центров материала и повышения его селективности.

Можно отметить, что газовая чувствительность нанокристаллического диоксида олова определяется активными центрами на его поверхности. Они определяют широкий спектр кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств поверхности, обеспечивая возможность протекания различных химических реакций на поверхности SnO_2 в атмосфере газовых смесей отработанных газов автотракторных двигателей.

Толщина используемых мембран, изготавливаемых в виде тонкой плёнки, ограничена требованиями газоплотности и механической прочности. Для обеспечения высокой проводимости и механической стойкости используются материалы, состоящие из наночастиц. В свою очередь, электроды должны иметь высокую пористость, развитую поверхность и достаточный объём для эффективного протекания электрохимических реакций.

Особую роль в процессах электрохимических реакций таких как ионизация молекул газа и их взаимодействие с потоком ионов в топливном элементе играют трёхфазные границы раздела (газ – электрод – электролит). А катоде молекула кислорода адсорбируется на поверхности частицы электрода и затем переносится с помощью поверхностной или объёмной диффузии. Молекулы кислорода преобразуются в ионы, связываясь с электронами, которые поступают на трёхфазную границу. На аноде ионы кислорода, передаваемые через электролит, преобразуются в молекулы воды или диоксид углерода, при этом высвобождаются электроны, которые возвращаются на электрод. Скорость всех этих реакций напрямую зависит от состава и наноструктуры электрода.

Аноды изготавливаются из пористых композиционных материалов на основе металлокерамики (никель, стабилизированный иттрием оксида циркония), которые обладают значительным числом трёхфазных границ. Разработана технология «Коллоидной обработки», которая позволяет получать однонаправленные поры цилиндрической формы, изменяющиеся по толщине электрода от нано до микроразмеров. Это обеспечивает высокую проницаемость, ионную проводимость и эффективность электродных реакций (рисунок 3) [7, 9, 10].



Рисунок 3 – **Структура композиционного материала на основе металлокерамики**

Основная цель создания композитов металлов с углеродными наноматериалами заключается в стабилизации наноструктуры самих металлов. Некоторые металлы (олово, алюминий) способны внедрять гораздо большее количество лития, чем углерод, но при условии перехода к наноразмерным частицам.

Для высокоэффективной работы топливного элемента необходимо, чтобы частицы платинового катализатора имели размер порядка нескольких нанометров. При этом достигается его максимальная активность и снижается расход дорогостоящей платины, во многом определяющей высокую стоимость топливных элементов.

В заключении можно отметить, что водородная энергетика и литий-ионика являются перспективными наукоёмкими областями. В них широко используются достижения нанотехнологий, материаловедения, мембранного переноса, электрохимии и катализатора. Бурное развитие нанотехнологий существенно повышает эффективность работы топливных элементов и литий-ионных аккумуляторов, удешевляя их стоимость.

Список литературы

1. *Аносова, А.И.* Функциональная диагностика двигателей внутреннего сгорания / *А.И. Аносова, П.И. Ильин, С.Н. Шуханов* // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 58. – С. 10-13. – EDN PRGZNI.

2. *Болоев, П.А.* Плазменные энергетические установки для ремонта деталей двигателей внутреннего сгорания / *П.А. Болоев, Т.В. Бодякина, Е.В. Елтошкина* // Современные вопросы устойчивого развития общества в эпоху трансформационных процессов: Сборник материалов XXXIV Международной научно-практической конференции, Москва, 13 марта 2026 года. – Москва : АНО ДПО «Университет ИТБО», 2026. – С. 86-92. – DOI 10.26118/8812.2026.71.54.015. – EDN YGBUTH.

3. Вечные “3S” полупроводниковых газовых сенсоров: роль химических подходов для повышения чувствительности, селективности и стабильности / *М.Н. Румянцева, А.В. Марикуца, В.Б. Платонов* [и др.] // Материалы всероссийской научной конференции с международным участием "IV Байкальский материаловедческий форум", Улан-Удэ - оз. Байкал, 01-07 июля 2022 года. – Улан-Удэ : Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2022. – С. 31-33. – EDN AYIFAD.

4. *Городецкая, А.А.* Обзор методов синтеза наночастиц и принцип работы синтезаторов наночастиц / *А.А. Городецкая, С.И. Белов* // Сборник трудов Научного турнира студентов первого курса института агробиотехнологии "Биоэнергетика и электротехнологии в АПК" по кафедре электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И.А. Будзко. – Москва : Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 105-108. – EDN ZYAQDC.

5. *Косырев, Д.А.* «Нанотехнологии» и «Наноматериалы»: анализ теоретических конструкций «Нанотехнологии» и «Наноматериалы» / *Д.А. Косырев, Е.Г. Шиханова* // Механизм реализации стратегии социально-экономического развития государства : Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, Махачкала, 23-24 сентября 2020 года / под ред. Эсетовой А.М. – Махачкала : Информационно-Полиграфический Центр ДГТУ, 2020. – С. 166-170. – EDN WRHAMJ.

6. *Метелин, В.А.* Анализ изменения плотности электролита в зависимости от условий эксплуатации / *В.А. Метелин, П.И. Ильин* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК: Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Энергетика, Иркутск, 11 декабря 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 105-106. – EDN KHTDNV.

7. Нанокристаллические оксидные материалы для полупроводниковых газовых сенсоров с низким энергопотреблением / *М.Н. Румянцева, А.В. Марикуца, В.В. Кривецкий, А.М. Гаськов* // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии : тезисы докладов в пяти томах, Екатеринбург, 26-30 сентября 2016 года / Уральское отделение Российской академии наук. Том 2а. – Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2016. – С. 111. – EDN XIFUGR.

8. Получение тонких электропроводящих покрытий на основе углеродных наноматериалов / *С.А. Гирина, К.А. Шиянова, А.Р. Иштеев* [и др.] // Химия, физика, биология: пути интеграции: Сборник тезисов докладов XI Всероссийской научной молодежной школы-конференции, Москва, 23-25 апреля 2025 года. – Москва : ООО "Наш Стиль", 2025. – С. 28. – DOI 10.59043/9785605341956_28. – EDN CNXPDL.

9. *Чумакова, В.Т.* Нанокристаллический кобальтит лантана как материал для газовых сенсоров / *В.Т. Чумакова, А.В. Марикуца, М.Н. Румянцева* // Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94, № 12. – С. 1390-1398. – DOI 10.31857/S0044461821120057. – EDN CHSWPW.

10. Information support of the "Electronic Nose" gas mixture components recognition system with artificial intelligence in environmental monitoring tasks / *G.A. Yarygin, M.V. Bayukin, V.F. Kornyushko* [et al.] // Вестник Технологического университета. – 2022. – Vol. 25, No. 1. – P. 81-87. – EDN YXAAML.

Сведения об авторах

Болоев Петр Антонович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инновационных технологий и наукоемких отраслей Бурятского государственного университета им. Д. Банзарова (670000, Россия, республика Бурятия, г. Улан-Удэ, тел.: 89500801880, e-mail: boloev.pioter.irgsh@yandex.ru).

Бодякина Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования ИЭУИПИ Иркутский государственный агарный университет им. А.А. Ежевского (664038, Иркутская обл., Иркутский р - н, п. Молодежный, тел.: 89148781789, e-mail: bodt1981@yandex.ru).

Елтошкина Евгения Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математики инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Иркутская обл., Иркутский р - н, п. Молодежный, тел.: 89041292430, e-mail: EEV_Baikal2005@mail.ru).

Information about the authors

Boloev Petr A. – doctor of technical sciences, professor of the department of innovative technologies and science-intensive industries. Buryat state university named after Dorzhi Banzarova (670000, Russia, republic of Buryatia, Ulan-Ude, tel.: 89500801880, e-mail: boloev.pioter.irgsh@yandex.ru).

Bodyakina Tatyana V. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of informatics and mathematical modeling, institute of economics, management, and applied informatics, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (664038, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village, tel.: 89148781789, e-mail: bodt1981@yandex.ru).
Eltoshkina Evgenia V. – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor at the department of mathematics, faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, tel.: 89041292430, e-mail: EEV_Baikal2005@mail.ru).

УДК 621.43

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ

[1]П.А. Болоев, [2]С.Н. Шуханов, [2]С.В. Агафонов

[1]ФГБОУ ВО Бурятский государственный ниверситет
Улан-Удэ, Россия
[2]ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Совершенствование мобильных технических средств – важная задача, решение которой способствует становлению АПК на качественно новый уровень развития.

Функционирование поршневого ДВС, демонстрирующего высокие качественные показатели, который является в настоящее время основным источником энергии машин и тракторов сельскохозяйственного профиля, имеет первостепенное значение. Одним из наиболее актуальных режимов работы силового агрегата является функционирование в процессе его прогрева. Всестороннее исследование явление происходящих в этом режиме позволяет избежать серьёзных последствий при несоблюдении результатов научно обоснованных выводов, что сказывается не только на последующей эффективной работе мотора, но и на его ресурсе. В статье представлены осуществленные аналитические исследования режимов прогрева двигателя, выполненные с использованием классической теории ДВС, а также информационного материала в этой области и позволяют создать основу для проведения экспериментальных работ в этом направлении.

Ключевые слова: аграрное производство, силовой агрегат, тепловой баланс, аналитические исследования, режимы прогрева.

ANALYTICAL STUDIES OF ENGINE WARM-UP MODES

[1]P.A. Boloev, [2]S.N. Shukhanov, [2]S.V. Agafonov

[1]FSBEI HE Buryat state university
Ulan-Ude District, Russia
[2]FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. Improving mobile technology is a crucial task, the solution of which contributes to the development of the agro-industrial complex to a qualitatively new level. The operation of a piston internal combustion engine, which demonstrates high-quality performance and is currently the primary power source for agricultural machinery and tractors, is of paramount importance. One of

the most important operating modes of a power unit is its warm-up phase. A comprehensive study of the phenomena occurring during this phase helps avoid serious consequences of failure to adhere to scientifically valid conclusions, which impact not only the subsequent efficient operation of the engine but also its service life. This article presents analytical studies of engine warm-up phases, conducted using classical internal combustion engine theory and relevant information, and provides a basis for experimental work in this area.

Key words: agricultural production, power unit, heat balance, analytical studies, warm-up modes.

Совершенствование машин и технологий технического оснащения агропромышленного комплекса позволяют значительно повысить его конкурентную способность. Решение проблем в этой сфере научных исследований представляют собой приоритетную задачу для достижения качественно нового уровня эффективности аграрного производства. При этом важное место отводится автотракторной технике. Двигатель – один из ключевых компонентов автотракторной техники и является основным источником их энергии.

Вопросам корректной работы двигателей внутреннего сгорания посвящены комплексные исследования. Это касается функционирования различных систем [1-4; 6-9], а также горюче-смазочных материалов, применяемых при этом [5, 10].

Одной из наиболее актуальных режимов работы силового агрегата является функционирование в процессе его прогрева. Всестороннее исследование явление происходящих в этом режиме позволяет избежать серьёзных последствий при несоблюдении результатов научно обоснованных выводов, что сказывается не только на последующей эффективной работе ДВС, но и на его ресурсе.

Ключевым аспектом комплексного исследования режимов прогрева силового агрегата в период его пуска является теоретическая компонента.

Функционирование под нагрузкой представляет собой эффективный способ снижение времени прогрева мотора.

В соответствии с классической теорией ДВС тепловой баланс даёт возможность определить корреляцию нагрузки с временным отрезком процесса прогрева, а также расходом горючего:

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{е}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{о.ж.}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{мет}} + Q_{\text{возд}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{т}}$ – тепло, за время сгорания горючей смеси;
$Q_{\text{е}}$ – тепло на полезную эффективную работу;
$Q_{\text{г}}$ – тепло в составе отработавших газов;
$Q_{\text{о.ж.}}$ – на нагрев охлаждающей жидкости;
$Q_{\text{м}}$ – тепло на нагрев масла;
$Q_{\text{мет}}$ – тепло на нагрев элементов двигателя;
$Q_{\text{возд}}$ – тепло, излучаемое с поверхностни мотора.

Баланс тепла двигателя

Баланс тепла двигателя за время *dt*:

$$G_{\text{ч}}\text{H}_u dt = 632N_e dt + C_{\text{г}}\text{M}_{\text{г}}(\text{T}_{\text{г}} - \text{T}_{\text{о}})dt + C_{o.\text{ж.}}\text{M}_{\text{о.ж.}}(\text{T}_{\text{о.ж.}} - \text{T}_{\text{нач}}) + \text{C}_{\text{м}}\text{M}_{\text{м}}(\text{T}_{\text{м}} - \text{T}_{\text{нач}}) + \text{C}_{\text{мет}}\text{M}_{\text{мет}}(\text{T}_{\text{мет}} - \text{T}_{\text{нач}}) + \alpha S(\text{T}_{\text{мет}} - \text{T}_{\text{о}})dt \quad (2)$$

где $G_ч$ – часовой расхода топлива;
$H_и$ – минимум теплотворной способности топлива;

N_e – эффективная мощность двигателя;

$C_г$, $C_{о.ж}$, $C_м$, $C_{мет}$ – теплоёмкости выхлопных газов, жидкости для охлаждения, моторного масла, теплоёмкость элементов мотора;

$M_г$, $M_{о.ж}$, $M_м$, $M_{мет}$ – масса газов, жидкости охлаждения, масла, элементов мотора;

$T_{мет}$, $T_о$, $T_{нач}$, $T_г$, $T_{о.ж}$, $T_м$ – температура элементов мотора, окружающей среды, стартовая температура мотора, выпускных газов, жидкости охлаждения, моторного масла;

α – коэффициент теплоотдачи двигателя;

S – поверхность.

Эксперименты показали: температуры выпускных газов меняются незначительно. Поэтому принято: разность температур выпускных газов и окружающего воздуха при прогреве постоянной и выразить так $\mathrm{A} = \mathrm{T_г} - \mathrm{T_о}$.

Тогда зависимость (2) будет такой:

$$G_ч \mathrm{H}_u dt = 632 N_e dt + C_г \mathrm{M_г A} dt + C_{о.ж.} \mathrm{M_{о.ж.}} d\mathrm{T_{дв}} + \mathrm{C_м M_м} d\mathrm{T_{дв}} + \mathrm{C_{мет} M_{мет}} d\mathrm{T_{дв}} + \alpha S \mathrm{T_{дв}} dt - S T_о dt,$$

либо,

$$G_ч \mathrm{H}_u dt = 632 N_e dt + C_г \mathrm{M_г A} dt + (C_{о.ж.} \mathrm{M_{о.ж.}} + \mathrm{C_м M_м} + \mathrm{C_{мет} M_{мет}}) d\mathrm{T_{дв}} + \alpha S \mathrm{T_{дв}} dt - S T_о dt. \quad (3)$$

Выразим обозначения для постоянных величин такие:

$$\mathrm{a} = G_ч H_u;\ b = 632 N_e;\ c = C_г \mathrm{M_г A};\ k = \alpha S;\ l = \alpha S T_о;\ m = C_{о.ж.} \mathrm{M_{о.ж.}} + \mathrm{C_м M_м} + \mathrm{C_{мет} M_{мет}}.$$

После преобразования зависимости (3) получим:

$$(a - b - c + l - k T_{дв}) dt = m dT_{дв}.$$

Обозначим через $B = a - b - c + l$, тогда:

$$(B - k T_{дв}) dt = m dT_{дв}. \quad (4)$$

После интегрирования зависимости (4) по времени от *0* до *t* и по температуре мотора от $T_{нач}$ до $T_{дв}$.

$$\int_0^t dt = \int_{T_{нач}}^{T_{дв}} \frac{m}{B - k T_{дв}} dT_{дв};$$

$$t = -\frac{m}{k} ln \left| \frac{B - k T_{дв}}{B - k T_{нач}} \right|,$$

а именно длительность прогрева двигателя тождественна:

$$t = \frac{m}{k} ln \left| \frac{B - k T_{нач}}{\mathrm{B\text{-}k T_{дв}}} \right|. \quad (5)$$

Из зависимости (5) получим:

$$ln \frac{B - k T_{дв}}{B - k T_{нач}} = -\frac{k}{m} t.$$

или:

$$B - k T_{дв} = (B - k T_{нач}) e^{-\frac{к}{m} t}, \quad (6)$$

то есть значение температуры мотора коррелирует со временем прогрева:

$$T_{дв} = \frac{B}{k} - \left(\frac{B}{k} - T_{нач} \right) e^{-\frac{k}{m} t} = \frac{B}{k} + \left(T_{нач} - \frac{B}{k} \right) e^{-\frac{k}{m} t},$$

а именно:

$$T_{дв} = \frac{B}{k} + \frac{T_{нач} - \frac{в}{k}}{e^{\frac{k}{m}t}}. \quad (7)$$

Значение расхода топлива за прогрев будет иметь вид:

$$G_{\text{топл}} = tG_{ч},$$

или:

$$G_{\text{топл}} = G_{ч}\frac{m}{k} ln \left|\frac{B - kT_{\text{нач}}}{\text{B-k}T_{\text{дв}}}\right|, \quad (8)$$

а именно:

$$G_{\text{топл}} = G_{ч}\frac{C_{о.ж.}M_{о.ж.} + C_{мет}M_{мет} + C_{м}M_{м}}{\alpha S} \cdot ln \left|\frac{G_{ч}H_{u} - 632N_{e} - C_{г}M_{г}(T_{г} - T_{о}) - \alpha S(T_{\text{нач}} - T_{о})}{G_{ч}H_{u} - 632N_{e} - C_{г}M_{г}(T_{г} - T_{о}) - \alpha S(T_{\text{дв}} - T_{о})}\right|. \quad (9)$$

Осуществлённый анализ зависимости (6) позволил установить ключевые аспекты, влияющие на длительность прогрева двигателя. А именно, это величина часового расхода топлива в ходе прогрева, включая разность значений температур двигателя и внешнего воздуха, температуры мотора до прогрева, его массовой характеристики, площади поверхности, коэффициента теплоотдачи.

Из зависимости (7) следует, начало прогрева имеет наибольшее значение. В последующем скорость нарастания температуры падает.

Увеличение расхода топлива (повышением частоты вращения коленвала или нагрузкой мотора) снижает время прогрева. Из зависимости (8) следует, что снижается суммарный расход топлива за прогрев.

При повышенной скорость прогрева снижает его длительность функционирования на неблагоприятном тепловом режиме, снижает расхода топлива и количество образуемых при сгорании водяных паров, которые генерируют формирование кислот. Рассмотренные аспекты в итоге способствуют минимизации износа составляющих деталей конструкции двигателя.

Работы, посвящённые совершенствованию силовых агрегатов, а также созданию новых технических средств как основного источника энергии мобильных машин, которые нашли широкое распространение в промышленности, а также в сельскохозяйственном производстве – важной отрасли экономики страны, имеет первостепенное значения. Полученные результаты исследований дают возможность повысить конкурентную способность всего агропромышленного комплекса, улучшают эффективность его функционирования. Аналитика представляет значимую часть комплексных исследований по модернизации машин и технологий.

В результате осуществлённых теоретических исследований режимов прогрева двигателя, с использованием классической теории ДВС, а также информационного материала в этой области и позволяют создать основу для проведения экспериментальных работ в этом направлении.

Список литературы

1. *Аносова, А.И.* Влияние параметров декомпрессирования цилиндров двигателя на момент сопротивления сжатию / *А.И. Аносова*, *П.И. Ильин*, *С.Н. Шуханов* // Вестник ВСГУТУ. - 2022. - № 2 (85). - С. 36-40.

2. *Алтухов, С.В.* Оптимальное значение температуры распылителей форсунок дизеля как фактор повышения эффективности его функционирования // С.В. Алтухов, *С.Н. Шуханов*, *Д.Н. Голубев* // В сборнике: Инженерные решения для АПК. Рязань, 2025. - С. 179-185.

3. *Бодякина, Т.В.* Снижение выбросов в атмосферу путем применения альтернативных топлив / *Т.В. Бодякина*, *П.А. Болоев* // В сборнике: Климат, экология и сельское хозяйство Евразии. Материалы XII международной научно-практической конференции. п. Молодежный, 2023. - С. 20-26.

4. *Бодякина, Т.В.* Определение параметров вредных выбросов в отработанных газах дизельных двигателей / *Т.В. Бодякина, П.А. Болоев, Т.П. Гергенова, А.В. Косарева* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2025. - № 2 (112). - С. 134-139.

5. *Болоев, П.А.* Работа автотракторных двигателей на альтернативных видах топлива / *П.А. Болоев, Т.П. Гергенова, М.К. Бураев, А.В. Шистеев, А.И. Аносова* // В сборнике: Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти Александра Александровича Ежевского. п. Молодежный, 2023. - С. 252-258.

6. *Болоев, П.А.* Современные тенденции развития автотракторных дизельных двигателей / *П.А. Болоев, Г.Д. Миронов, Т.П. Гергенова, Е.В. Бондарчук, Н.А. Енина, В.Н. Нечкин* // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. - 2024. - № 4. - С. 33-37.

7. *Болоев, П.А.* Многорежимная оптимизация газотурбинного наддува дизеля / *П.А. Болоев, А.А. Абидуев, А.С. Пехутов, Т.В. Бодякина* // Техника и оборудование для села. - 2024. - № 5 (323). - С. 22-24.

8. Дутова, К.А. Конвертирование системы подачи топлива бензиновых ДВС для работы на этиловом спирте / К.А. Дутова, В.М. Гаврилюк, А.В. Шистеев // В сборнике: Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. В III томах. п. Молодежный, 2023. - С. 58-61.

9. *Коваливнич, В.Д.* Особенности и принцип функционирования насоса-форсунки на дизелях / *В.Д. Коваливнич* // В сборнике: Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона. Сборник научных тезисов студентов. п. Молодежный, 2025. - С. 214-215.

10. *Хитерхеева, Н.С.* К вопросу основных функций моторного масла / *Н.С. Хитерхеева, С.В. Агафонов* // В сборнике: Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК. Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Энергетика. Иркутск, 2025. - С. 198-199.

Сведения об авторах

Болоев Петр Антонович – доктор технических наук, профессор кафедры общей и теоретической физики, Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова (670000, Дальневосточный федеральный округ, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ранжурова, 4, тел.: 89500801880, e-mail: boloev.pioter.irgsh@yandex.ru).

Шуханов Станислав Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технического обеспечения АПК, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, м. р-н Иркутский, с. п. Молодежное, п. Молодежный, зд. 1/1, тел.: 89086546032, e-mail: Shuhanov56@mail.ru).

Агафонов Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, м. р-н Иркутский, с. п. Молодежное, п. Молодежный, зд. 1/1, тел.: 89149024358, agafonov38@rambler.ru).

Information about the authors

Boloev Petr A. – doctor of engineering sciences, professor in the department of general and theoretical physics, Dorzhi Banzarov Buryat state university (4 Ranzhurova st., Ulan-Ude, 670000, Far eastern federal district, republic of Buryatia, tel.: +7 9500801880, e-mail: boloev.pioter.irgsh@yandex.ru).

Shukhanov Stanislav N. – doctor of technical sciences, professor, department of technical support for the agro-industrial complex, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038,

Russia, Irkutsk region, Irkutsk metropolitan area, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny settlement, bldg. 1/1, tel.: +7 9086546032, e-mail: Shuhanov56@mail.ru).
Agafonov Sergey V. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of technical service and general engineering disciplines, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk metropolitan district, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny settlement, bldg. 1/1, tel.: 89149024358, agafonov38@rambler.ru).

УДК 631.95

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Т.Л. Горбунова, А.А. Зайцев

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Центробежный регулятор тракторного дизеля – это автоматическое устройство, которое поддерживает заданную частоту вращения коленчатого вала при изменении нагрузки на двигатель. Также оказывает влияние на стабильные обороты на холостом ходу, предотвращает остановку двигателя при резком увеличении нагрузки, не даёт мотору превысить безопасный предел оборотов при сбросе нагрузки. Механизм устанавливается на топливном насосе высокого давления или в отдельном корпусе рядом с ним. Чтобы обороты сами регулировались в зависимости от нагрузки и не повышались при сбросе нагрузки, если они будут увеличиваться, то они должны быть рассчитаны на определённое кол-во оборотов и их превышения ни к чему хорошему не приведёт. С другой стороны, регулятор связан с вакуумом, повышаются обороты, улучшается вакуум, регулятор прикрывает дроссель и наоборот.

***Ключевые слова**:* центробежный регулятор, угловая скорость, угловое ускорение, абсолютная скорость, абсолютное ускорение.

KINEMATIC CALCULATION OF THE CENTRIFUGAL GOVERNOR OF A TRACTOR DIESEL ENGINE

T.L. Gorbunova, A.N. Zaitsev

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. A tractor diesel centrifugal governor is an automatic device that keeps the crankshaft spinning at a set speed when the engine load changes. It also helps maintain stable idle speed, prevents the engine from stalling when the load suddenly increases, and stops the engine from overrevving when the load drops. The mechanism is mounted on the high-pressure fuel pump or in a separate housing next to it. The engine speed should adjust automatically depending on the load and not rise when the load drops; if it does increase, it should be limited to a certain RPM, as exceeding it won't be good. On the other hand, the regulator is linked to the vacuum: as the RPM goes up, the vacuum improves, the regulator closes the throttle and vice versa.

***Key words**:* centrifugal governor, angular velocity, angular acceleration, absolute velocity, absolute acceleration.

Регулятор называется центробежным потому, что его действие основано на изменении центробежных сил, возникающих при разных значениях частоты вращения его грузов. Как известно, центробежная сила возникает при вращении любого тела (груза). В регуляторе таким вращающимся телом является траверса (диск). Диск (рисунок 1) приводится во вращение через зубчатую передачу от коленчатого вала дизеля [1, 5].

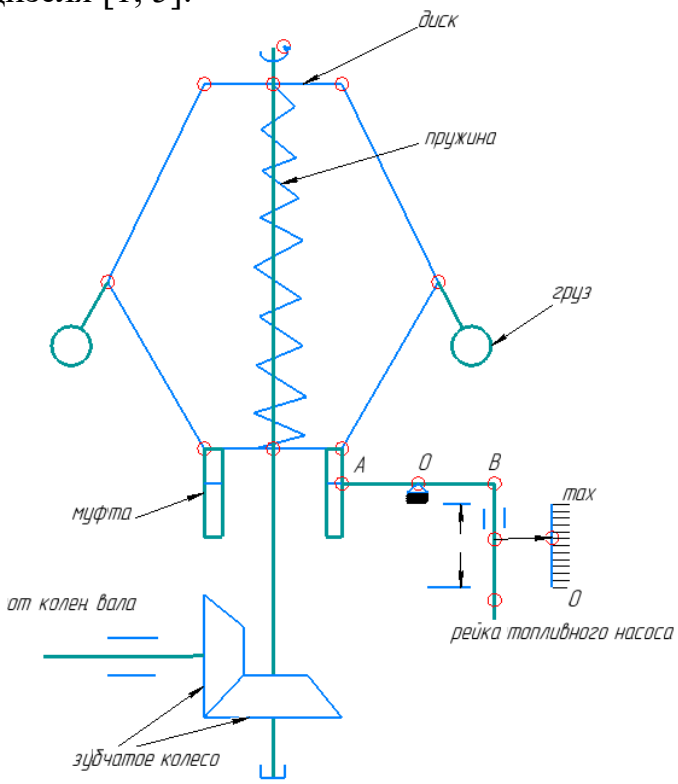


Рисунок 1 – **Схема центробежного регулятора**

К краям диска шарнирно прикреплены два рычага с одинаковыми грузами, по одному на каждом рычаге. Грузы вращаются вместе с диском регулятора вокруг вертикальной оси и шарнирно связаны со скользящей муфтой, которая может свободно перемещаться вверх или вниз. Весь этот узел называется измерителем частоты вращения коленчатого вала дизеля. Это исходный основной орган регулятора [1, 2].

Когда подача топлива в цилиндры соответствует нагрузке дизеля, его коленчатый вал вращается с некоторой постоянной частотой и вся система регулятора находится в равновесии. Рассмотрим, кинематику центробежного регулятора [4].

Грузы центробежного регулятора тракторного дизеля в период пуска вращаются вокруг оси СД согласно уравнению $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ и одновременно с этим отходят от оси, вращаясь вместе с стержнем длинной l вокруг осей привеса 0_1 и 0_2 по закону $\varphi_2 = \varphi_2(t)$. Наша задача стоит в определении абсолютной скорости и ускорения грузов в различные моменты времени и при разных углах поворотах. Поскольку грузы закреплены на стержне одинаковой длины (рисунок 1), которые вращаются относительно осей привеса 0_2 по одному закону, то они движутся идентично, и поэтому для решения задачи достаточно рассмотреть движение любого груза.

Рассмотрим движение груза. Он совершает сложное движение, состоящее из относительного вращения по закону $\varphi_2 = \varphi_2(t)$.вместе со стержнем O_2B вокруг оси привеса O_2 и переносного вращательного движения оси по СД по закону $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ (рисунок 2).

Положение груза В в заданный момент времени определяется зависимостью по формуле:

$$\varphi_2 = \varphi_2(t). \quad (1)$$

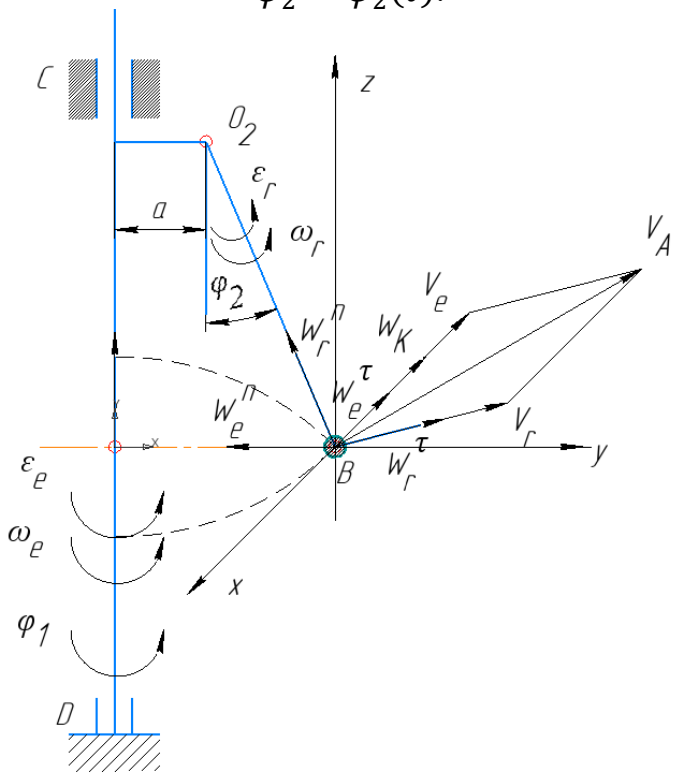


Рисунок 2 – **Схема векторов скоростей и ускорений груза центробежного регулятора**

Кинематические характеристики относительного движения груза определим и покажем их на рисунке.

Угловая скорость и угловое ускорение относительного движения:

$$\omega_r = \frac{d\varphi_2}{dt}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_r = \frac{d\omega_2}{dt}. \quad (3)$$

Относительная скорость, касательное и нормальное ускорения равны:

$$V_r = \omega_r l, \quad (4)$$

$$W_r^{\tau} = \varepsilon_r l, \quad (5)$$

$$W_r^{n} = \omega_r^2 l. \quad (6)$$

где l – длина стержня.

Кинематические характеристики переносного движения груза В – угловая скорость и угловое ускорение, переносная скорость, переносное нормальное и касательное ускорения равны:

$$\omega_{\text{e}} = \frac{d\varphi_1}{dt}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{\text{e}} = \frac{d\omega_1}{dt}. \quad (8)$$

Совпадение знаков $\overline{\omega_e}$ и $\overline{\varepsilon_e}$ говорят о том, что переносное вращение ускоренно или замедленное.

$$v_e = \omega_e R, \tag{9}$$

где $R = OB = a + lsin\varphi_2$ – радиус окружности.

$$W_e^{\tau} = \varepsilon_e R, \tag{10}$$

$$W_e^{n} = \omega_e^2 l. \tag{11}$$

Ускорение Кориолиса определяется, учитывая, что угол между векторами $\overline{\omega_e}$ и $\overline{v_r}$ [3].

$$W_K = 2\omega_e v_r sin\widehat{\overline{\omega_e}\overline{v_r}}. \tag{12}$$

Абсолютная скорость груза равна геометрической сумме переносной и относительной скорости.

$$\overline{v_a} = \overline{v_e} + \overline{v_r}. \tag{13}$$

Векторы $\overline{v_e}$ и $\overline{v_r}$ взаимно перпендикулярны, то скорость равна:

$$v_A = \sqrt{v_e^2 + v_r^2}. \tag{14}$$

Абсолютное ускорение груза можно определить, используя теорему сложения ускорений:

$$\overline{W_a} = \overline{W_e^n} + \overline{W_e^{\tau}} + \overline{W_r^n} + \overline{W_r^{\tau}} + \overline{W_K}. \tag{15}$$

Для определения W_a проведём координатные оси xyz и вычислим проекции абсолютного ускорения на эти оси. Учтём при этом, что векторы $\overline{W_e^{\tau}}$, $\overline{W_K}$ на оси x, а векторы $\overline{W_e^n}$, $\overline{W_r^n}$, $\overline{W_r^r}$ лежат в плоскости yz. Проектируя обе части выше приведённого равенства на координатные оси, получим:

$$W_{ax} = -W_e^{\tau} - W_K, \tag{16}$$

$$W_{ay} = -W_e^{n} - W_r^{n}\cos\varphi_2 + W_r^{\tau}\cos\varphi_1, \tag{17}$$

$$W_{az} = W_r^{n}\cos\varphi_2 + W_r^{\tau}\cos\varphi_2. \tag{18}$$

Отсюда находим модуль абсолютного ускорения груза в заданный момент времени по формуле:

$$W_a = \sqrt{W_{ax}^2} + \sqrt{W_{ay}^2} + \sqrt{W_{az}^2}. \tag{19}$$

Рассчитав кинематику грузов центробежного регулятора, которые служат для преобразования изменения скорости вращения вала в механическое движение, можно экономично управлять подачей топлива, зажиганием или дроссельной заслонкой. Учитывать измерение скорости, так как они служат датчиком текущих оборотов двигателя или механизма. Учитывать перемещение элементов управления, через рычаги и муфту движение грузов, на топливную рейку, клапан или механизм опережения зажигания. А также стабилизировать частоту оборотов, чтобы они могли автоматически поддерживают заданную скорость при изменении нагрузки.

Список литературы

1. Регуляторы скорости тракторных и автомобильных дизелей / *Б.П. Загородских, В.А. Марков* // Монография. Изд. Машиностроение. 2006. – 286 с.

2. *Родичев В.А.* Устройство и эксплуатация топливной аппаратуры тракторов и комбайнов: учеб. пособие / *В.А. Родичев*. Изд-во: Агропромиздат, 2008. – 340 с.

3. *Тарг С.М.* Краткий курс теоретической механики: Учебник / *С.М. Тарг*. – Москва : Изд. ЛЕНАНД, 2018. – 424 с.

4. Топливная аппаратура тракторных и комбайновых дизелей / *В.И. Крутов, И.П. Кузьмин, А.С. Солонский* и др. // Справочник: Изд-во: Машиностроение, 1986. – 245 с.

5. *Шарипов В.М., Арустамов Л.Х., Гордеев А.Н*. и др. Тракторы. Конструкция: учебник для вузов / *В.М. Шарипов, Л.Х. Арустамов, А.Н. Гордеев*. – Москва : Изд-во : Машиностроение, 2010. – 342с.

Сведения об авторах

Горбунова Татьяна Леонидовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технический сервис и общеинженерные дисциплины инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел.: 89149409674, g.tatyana68@mail.ru).

Зайцев Андрей Алексеевич – студент 4 курса, направление подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел.: 89041130972).

Information about the authors

Gorbunova Tatyana L. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of technical service and general engineering disciplines, faculty of engineering. Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village, tel.: 89149409674, g.tatyana68@mail.ru).

Zaitsev Andrey A. – is a 4th-year student, studying 23.03.03 'Operation of transport and technological machines and complexes' at the faculty of engineering. Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel.: 89041130972).

УДК 621.431-044.3

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО МОМЕНТУ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОКРУЧИВАНИЮ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

П.И. Ильин, О.И. Самбарова, Ц.В. Цэдашиев

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В настоящей работе рассматривается подход к безразборной оценке технического состояния двигателя внутреннего сгорания, опирающийся на регистрацию и последующий анализ момента сопротивления, возникающего при проворачивании коленчатого вала. Предложено формализованное описание указанного процесса, установлена взаимосвязь между диагностическим параметром и фактическим состоянием цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и газораспределительного механизма (ГРМ). Сопоставлены диаграммы прокручивания, полученные для заведомо исправного агрегата и для двигателей с искусственно внесёнными дефектами. Установлено, что конфигурация и характер кривой момента сопротивления дают возможность идентифицировать нарушение регулировки клапанов, потерю герметичности камеры сгорания и ряд иных отклонений. Обоснована целесообразность применения метода как экономичного и информативного инструмента технической диагностики ДВС.

Ключевые слова: техническая диагностика, двигатель внутреннего сгорания, коленчатый вал, момент сопротивления прокручиванию, цилиндро - поршневая группа, газораспределительный механизм.

DIAGNOSING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY CRANKSHAFT CRANKING RESISTANCE TORQUE: THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS

P.I. Ilyin, O.I. Sambarova, Ts.V. Tsedashiev

FSBEI HE rkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The present paper considers an approach to the non-dismantling assessment of the technical condition of an internal combustion engine, based on the recording and subsequent analysis of the resistance torque arising during crankshaft cranking. A formalized description of the specified process is proposed, and the relationship between the diagnostic parameter and the actual condition of the cylinder-piston group (CPG) and the gas distribution mechanism (GDM) is established. Cranking diagrams obtained for a known-good engine and for engines with artificially introduced defects are compared. It is found that the configuration and character of the resistance torque curve make it possible to identify valve misadjustment, loss of combustion chamber tightness, and a number of other deviations. The expediency of applying the method as a cost-effective and informative tool for technical diagnostics of internal combustion engines is substantiated.

Key words: technical diagnostics, internal combustion engine, crankshaft, cranking resistance torque, cylinder-piston group, gas distribution mechanism.

Двигатель внутреннего сгорания по-прежнему занимает доминирующее положение среди силовых установок, применяемых в автотракторной технике. Анализ эксплуатационной статистики свидетельствует о том, что значительная доля отказов приходится именно на цилиндро-поршневую группу: для легковых автомобилей этот показатель достигает 13 %, а для грузовых – 25 %. Существенно, что штатные бортовые системы контроля, как правило, не фиксируют постепенное ухудшение состояния ЦПГ по мере наработки. Традиционные способы диагностирования – замер компрессии, продувка цилиндров сжатым воздухом, компрессорно-вакуумный метод – не лишены недостатков, связанных с трудоёмкостью и не всегда достаточной достоверностью получаемых результатов [1, 2].

Цель настоящей работы состоит в обобщении и критическом анализе метода диагностирования ДВС, основанного на измерении момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала, а также в обосновании его практической ценности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Дать формализованное описание момента сопротивления, возникающего при проворачивании вала;

2. Проследить взаимосвязь диагностического параметра с техническим состоянием ЦПГ и ГРМ;

3. Проанализировать экспериментальные диаграммы, полученные для исправного и дефектных двигателей.

Если коленчатый вал проворачивается без запуска рабочего процесса (подача топлива прекращена), то суммарный момент сопротивления вращению M_c допустимо рассматривать как аддитивную величину, складывающуюся из трёх слагаемых:

$$M_c = M_{сж} + M_{тр} + M_{мех},$$

где $M_{сж}$ – отражает затраты на сжатие рабочей смеси;

$M_{тр}$ – потери на трение;

$M_{мех}$ –механические затраты на проворачивание кривошипно-шатунного механизма и привод вспомогательных агрегатов [3, 4].

Наибольшая сила, воздействующая на поршень, фиксируется в заключительной фазе такта сжатия:

$$F_{max} = \frac{P_k \pi d^2}{4},$$

где P_k – давление в конце сжатия;

d – диаметр поршня.

Экспериментальные наблюдения показывают, что как момент сопротивления, так и потребляемый стартером ток меняются по синусоидальному закону в зависимости от угла поворота вала; при этом пиковые значения приходятся на момент достижения поршнями верхней мёртвой точки. Именно это обстоятельство позволяет рассматривать форму зависимости $M_c(\varphi)$ в качестве диагностического признака [2, 3].

Обобщённая структурная схема измерительной установки, реализующей рассматриваемый метод, представлена на рисунке 1.

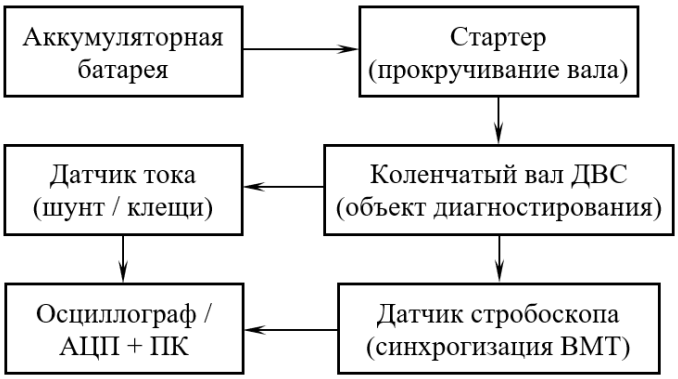


Рисунок 1 – **Структурная схема установки для диагностирования ДВС по моменту сопротивления прокручиванию**

Компоненты схемы: источник питания (аккумуляторная батарея), стартер, датчик тока, синхронизирующий датчик (стробоскоп) и регистрирующее устройство (осциллограф, либо АЦП, сопряжённый с ПК).

У заведомо исправного двигателя пиковые значения момента сопротивления по отдельным цилиндрам оказываются близкими друг к другу и лежат в диапазоне $M_c \approx 42 \ldots 44$ Н·м [3, 4]. Как только техническое состояние какого-либо цилиндра отклоняется от нормы, это незамедлительно отражается на форме и характере кривой $M_c(\varphi)$.

На рисунке 2 представлена диаграмма момента сопротивления, характерная для исправного четырёхцилиндрового двигателя.



Рисунок 2 – **Типичная диаграмма момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала для исправного двигателя**

По оси ординат отложен момент сопротивления M_c, по оси абсцисс – угол поворота коленчатого вала φ. Пики отвечают тактам сжатия в каждом из цилиндров. У исправного двигателя амплитуды и фазовые положения экстремумов сохраняют стабильность и симметричность.

Анализ диаграмм прокручивания позволяет обнаружить целый ряд неисправностей:

• Нарушение регулировки клапанов (впускных, выпускных либо одновременно тех и других) – меняются амплитуда и фаза экстремумов, относящихся к соответствующему цилиндру (рисунок 3);

• Потеря герметичности камеры сгорания (износ колец, поршней, неплотное прилегание свечей) – уменьшается пиковое значение момента на такте сжатия (рисунок 4);

• Отклонение фаз газораспределения – смещаются угловые положения экстремумов M_c и угловой скорости ω.

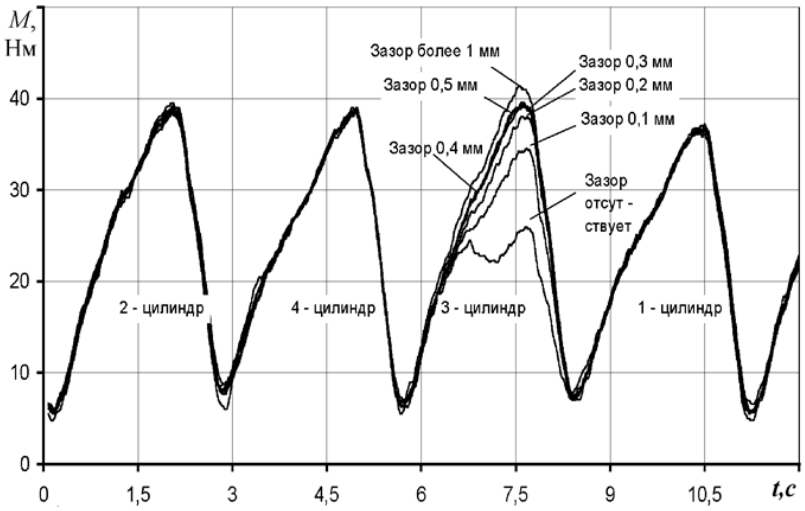


Рисунок 3 – **Диаграмма момента сопротивления для исправного двигателя и при разрегулировке клапанов**

Пунктирная кривая иллюстрирует трансформацию диаграммы при разрегулировке клапанов: амплитуда в соответствующем цилиндре падает, а положение экстремума смещается по углу.

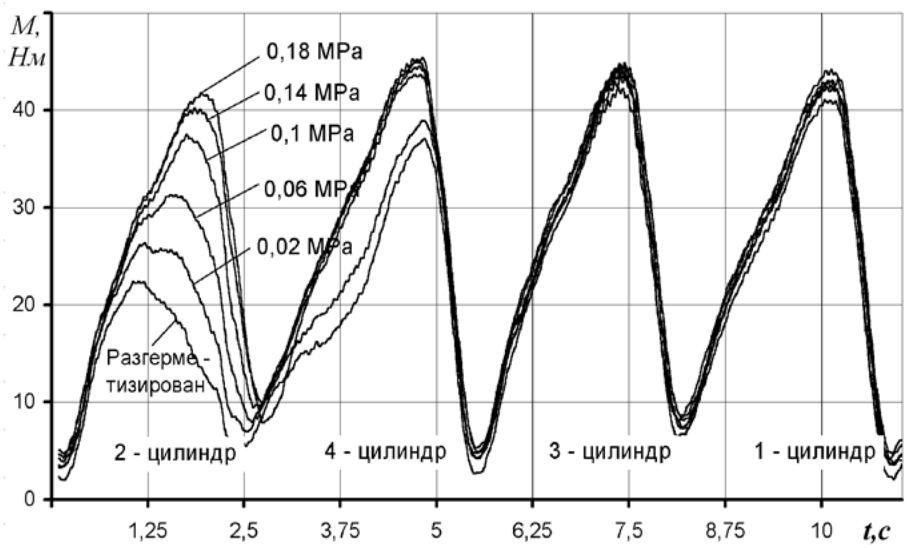


Рисунок 4 – **Влияние герметичности камеры сгорания на амплитуду момента сопротивления**

Падение давления конца сжатия P_k влечёт за собой пропорциональное снижение максимального момента сопротивления.

Важно отметить, что слагаемые момента, обусловленные силами инерции движущихся масс (в пределах ±5 Н·м) и механическими потерями, практически не сказываются на экстремальных значениях и фазовых положениях. Это обстоятельство существенно повышает надёжность диагностирования газораспределительного механизма [3, 5].

Порядок действий при реализации рассматриваемого метода включает следующие шаги:

1. Прекращение подачи топлива в цилиндры – это исключает самовоспламенение и запуск двигателя;

2. Подключение запоминающего осциллографа к аккумуляторной батарее и стробоскопического датчика к топливопроводу первого цилиндра (рисунок 1);

3. Прокручивание коленчатого вала стартером продолжительностью не более 10 сек. с параллельной регистрацией кривой момента сопротивления;

4. Привязка зарегистрированной кривой к положению поршня первого цилиндра в ВМТ на такте сжатия при помощи стробоскопа;

5. Сопоставление полученной диаграммы с эталонной (рисунок 2) и по величине отклонений формы, амплитуды и фазового положения экстремумов – постановка диагноза [2, 3].

Сравнение рассматриваемого подхода с традиционными способами оценки состояния ЦПГ свидетельствует о его ощутимых преимуществах. В частности, метод измерения динамического давления при прокручивании (к которому относится и настоящий подход) обеспечивает достоверность вплоть до 98 % при трудоёмкости 0,3 чел.-ч. Для сравнения: замер компрессии даёт 85 % достоверности при 0,2 чел.-ч, а метод, основанный на пульсации тока стартера – лишь 70 % [3, 4].

Метод прокручивания коленчатого вала демонстрирует высокую результативность при минимальных затратах на аппаратную реализацию. Он даёт

возможность без разборки агрегата оценить состояние как отдельных цилиндров, так и механизма газораспределения в целом, что открывает перспективы его применения непосредственно в условиях эксплуатации автотракторной техники [6, 8].

К числу ограничений метода следует отнести потребность в специализированном измерительном оборудовании, а также необходимость предварительной калибровки применительно к каждому конкретному типу двигателя. Помимо этого, на итоговые результаты способен влиять человеческий фактор, что подтверждают исследования, выполненные при диагностировании тормозного управления на стенде СТМ-3500 [7].

Метод диагностирования ДВС по моменту сопротивления прокручиванию коленчатого вала опирается на строгое физическое описание процессов, протекающих в двигателе при его проворачивании без инициализации рабочего процесса. В роли диагностического параметра выступает форма и характер зависимости $M_c(\varphi)$, закономерно изменяющейся при разрегулировке клапанов, потере герметичности камеры сгорания и отклонениях фаз газораспределения. Метод сочетает высокую достоверность с низкой трудоёмкостью, что позволяет рекомендовать его к практическому использованию в системах технического обслуживания автотракторной техники.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на автоматизацию обработки диаграмм прокручивания, формирование баз эталонных кривых для разных моделей двигателей, а также на интеграцию метода в интеллектуальные системы накопления и систематизации научных данных в сельском хозяйстве [9].

Список литературы

1. *Болоев, П.А.* Влияние условий эксплуатации на динамику работы двигателя / *П.А. Болоев, Т.П. Гергенова, А.И. Аносова, П.И. Ильин* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06-08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. — Молодёжный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 11-15. – EDN PRJQWW.

2. *Егоров, И.Б.* Диагностирование двигателя внутреннего сгорания по форме и виду диаграммы прокручивания коленчатого вала / *И.Б. Егоров, П.И. Ильин, Ц.В. Цэдашиев* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. В III томах, Иркутск, 16-17 февраля 2023 года. Том II. – п. Молодёжный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 68-72. – EDN UAIZMA.

3. *Ильин, П.И.* Диагностирование карбюраторного двигателя по моменту сопротивления прокручиванию коленчатого вала : специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / *Ильин Пётр Иванович*. – Иркутск, 2002. – 171 с. – EDN QDUZSH.

4. *Ильин, П.И.* К вопросу дифференцированного диагностирования цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания / *П.И. Ильин* // Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники в условиях Восточной Сибири : сборник научных трудов / Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ; Иркутская государственная

сельскохозяйственная академия. – Иркутск : Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, 1999. – С. 228-232. – EDN WFPUZU.

5. *Ильин, П.И.* Площадь на диаграмме под кривой момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала двигателя как диагностический параметр / *П.И. Ильин, Н.И. Овчинникова* // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства в условиях Восточной Сибири : Сборник научных трудов / Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2002. – С. 148-153. – EDN WYOLOI.

6. *Ильин, П.И.* Показатели приспособленности и их влияние на процесс диагностирования машин / *П.И. Ильин, С.А. Филиппов* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 14-15 марта 2019 года. Том II. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. – С. 152-160. – EDN BWRNNZ.

7. Исследование влияния человеческого фактора на результаты диагностирования тормозного управления автомобиля на стенде СТМ-3500 / *С.Н. Кривцов, Д.С. Алексеенцев, П.И. Ильин, О.Н. Хороших* // Актуальные проблемы эксплуатации машинно-тракторного парка, технического сервиса, энергетики и экологической безопасности в агропромышленном комплексе : Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию со дня рождения Ивана Петровича Терских, Иркутск, 25-27 сентября 2007 года. – Иркутск : Издательство Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, 2007. – С. 103-108. – EDN AQZGLN.

8. К оценке производственно-технической эксплуатации машинно-тракторного парка с учётом проведения профилактических мероприятий / *П.И. Ильин, А.И. Аносова, Ц.В. Цэдашиев, Г.М. Бураева* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский ГАУ, 03-04 октября 2024 года. – Иркутский : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 68-74. – EDN KWUOEP.

9. Накопление и систематизация научных данных при использовании интеллектуального интерфейса в сельском хозяйстве / *М.Такеми, М.К. Бураев, П.И. Ильин* [и др.] // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И. П. Терских», посвящённой 85-летию Иркутского ГАУ, Иркутск, 26-27 сентября 2019 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. – С. 180-190. – EDN IMCYQI.

Сведения об авторах

Ильин Петр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасность жизнедеятельности и профессиональное обучение» инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89025191511, e-mail: ipi.academy@mail.ru).

Самбарова Ольга Ивановна – студентка 2 курса колледжа автомобильного транспорта и агротехнологий Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т. +79149162238, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Цэдашиев Цырендаши Владимирович – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т. +79500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Information about the authors

Ilyin Petr I. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of machine and tractor fleet operation, life safety and professional training. Irkutsk state agricultural university named

after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 89025191511, e-mail: ipi.academy@mail.ru).
Sambarova Olga I. – 2nd-year student at the college of automotive transport and agrotechnologies, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: +79149162238; e-mail: thedashiev@mail.ru).
Tsedashiev Tsyrendashi V. – senior lecturer at the department of agricultural machinery and technologies, occupational safety, and vocational training, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: +79500834583; e-mail: thedashiev@mail.ru).

УДК 629.3.027.5

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШИН СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

Д.М. Коновалов, Р.Р. Гоненко

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет
Иркутск, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача разработки измерительной системы стенда для определения характеристик шин средств индивидуальной мобильности (СИМ). Обоснована актуальность, связанная с отсутствием специализированных стендов и стандартов для шин малого диаметра. Предложена система измерения боковой силы на базе тензорезисторных датчиков ДСТ-9035 и система измерения скорости вращения барабана на основе геркона. Приведены метрологические характеристики и результаты поисковых экспериментов.

Ключевые слова: средства индивидуальной мобильности, шина, испытательный стенд, боковая сила, угол увода, тензодатчик.

DEVELOPMENT OF A MEASURING SYSTEM FOR A TEST BENCH TO DETERMINE THE CHARACTERISTICS OF TIRES FOR PERSONAL MOBILITY DEVICES

D.M. Konovalov, R.R. Gonenko

FSBEI HE Irkutsk national research technical university
Irkutsk, Russia

Annotation. The paper considers the development of a measuring system for a test bench designed to determine the characteristics of tires for personal mobility devices (PMD). The relevance is justified by the absence of specialized benches and standards for small-diameter tires. A lateral force measuring system based on DST-9035 strain gauge sensors and a drum rotation speed measuring system based on a reed switch are proposed. Metrological characteristics and the results of exploratory experiments are presented.

Key words: personal mobility devices, tire, test bench, lateral force, slip angle, strain gauge.

Рынок средств индивидуальной мобильности (СИМ) – электросамокатов, моноколёс, гироскутеров, электроскейтбордов, сегвеев – в последние годы

растёт. Шина является единственным элементом СИМ, контактирующим с дорожным покрытием, и именно от её свойств зависят устойчивость, управляемость и безопасность движения.

Ключевыми характеристиками шин, определяемыми при испытаниях, являются: коэффициент сцепления с дорогой φ, боковая сила F_y, угол увода δ, сила сопротивления качению F_f и демпфирующие свойства.

Коэффициент сцепления определяется как отношение максимальной силы сцепления к нормальной нагрузке:

$$\varphi = \frac{F_{Xmax}}{N}. \quad (1)$$

Боковая сила F_y возникает в пятне контакта при повороте или боковом ускорении и связана с углом увода соотношением:

$$F_y = C_a \cdot \delta, \quad (2)$$

где C_a – коэффициент поперечной жёсткости шины.

Для СИМ без подвески демпфирование шины является единственным механизмом поглощения высокочастотных вибраций, что делает её характеристики критически важными для комфорта и безопасности.

В России на сегодняшний день отсутствуют стенды и измерительные системы, предназначенные специально для шин СИМ. Автомобильные стенды обладают избыточными нагрузочными характеристиками, высокой стоимостью и геометрическими ограничениями, делающими их непригодными для шин малого диаметра без значительной доработки. Нормативно-методическая база не содержит стандартов, учитывающих специфику шин СИМ (малые диаметры, низкие давления, особые материалы).

Методы определения характеристик шин делятся на полевые (дорожные) и лабораторные (стендовые). По регистрируемым параметрам выделяют методы определения сцепных характеристик, упруго-деформационных характеристик, сопротивления качению и комплексных испытаний.

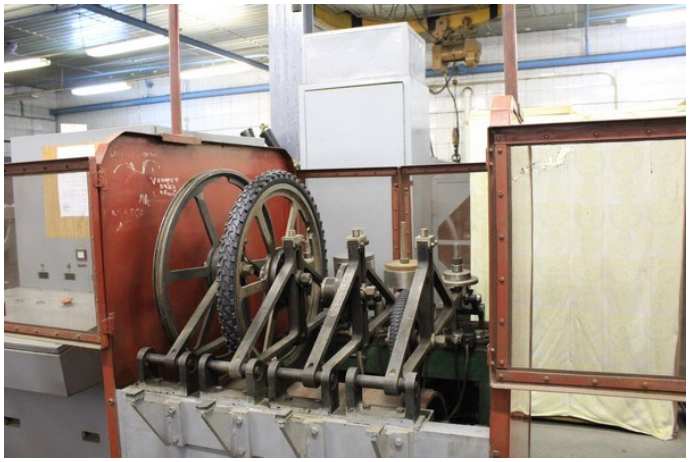


Рисунок 1 – **Стенд «*ИПЗ-4М*»**

Среди существующих стендов можно выделить:

• ИПЗ-4М (лаборатория «Петрошина») – сертификационные испытания шин легковых автомобилей и мотоциклов по правилам ЕЭК ООН №30, 75, 108.

• *MTS Flat-Trac* – отраслевой стандарт для измерения сил и моментов, действующих на шину. Позволяет задавать вертикальную нагрузку, углы развала и увода, тяговое и тормозное усилие. Предназначен для шин легковых автомобилей, лёгких грузовиков и мотоциклов.



Рисунок 2 – **Стенд *«MTS Flat-Trac»***

Непригодность существующих стендов для шин СИМ обусловливает необходимостью разработки специализированной измерительной системы.

Боковая сила F_y направлена перпендикулярно плоскости вращения колеса и возникает вследствие упругого смещения элементов протектора и каркаса шины относительно обода. Для её измерения использованы два тензорезисторных датчика ДСТ-9035, включённых в мостовую схему.

Конструкция измерительной системы включает металлическую балку с установленными датчиками ДСТ-9035, соединёнными в мост Уитстона. Технические характеристики датчика приведены в таблице 1.

Таблица 1 – **Технические характеристики датчиков ДСТ-9035**

№ п./п.	Характеристики	Значение
1	Категория точности по ГОСТ-28836	0,1; 0,25
2	Номинальное усилие ($P_{ном}$), кН	0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 50,0; 100,0
3	Рабочий коэффициент передачи при номинальной нагрузке	1,5 мВ/В
4	Диапазон рабочих температур	от −50 до +50 °С
5	Электрическое питание (постоянным током)	24 В

Для целей измерения боковой нагрузки на колесо СИМ выбран датчик с номинальным усилием 1,0 кН. Действующая на колесо боковая сила передаётся через нагружающую раму на чувствительные элементы датчиков, что создаёт пару разнонаправленных сил. В местах наклейки тензорезисторов возникает деформация, вызывающая разбалансировку мостов. Для преобразования и регистрации получаемого сигнала разработана электрическая схема. Выходные сигналы тензомостов поступают на операционный усилитель, затем оцифровываются многоканальным АЦП с частотой не менее 1 кГц и разрядностью 24 бита.

Калибровка системы производится в статическом режиме эталонными грузами по двум направлениям, а также проводится температурная калибровка.

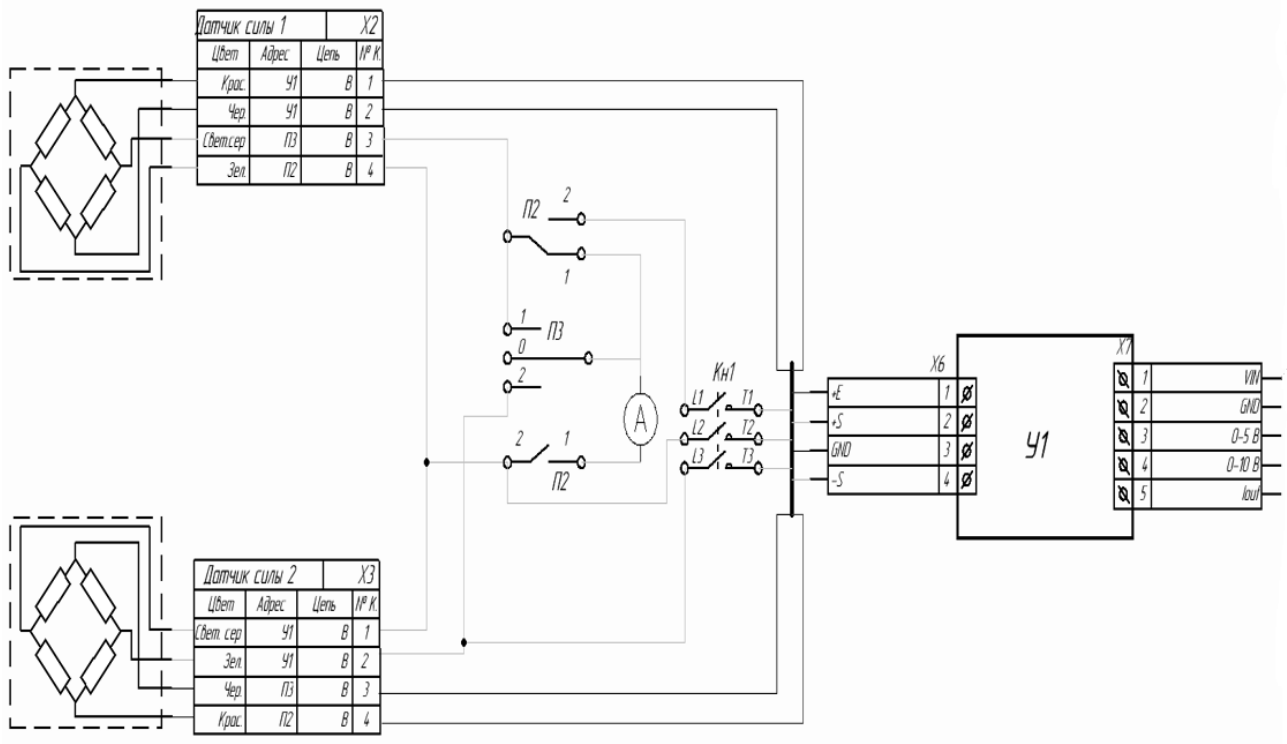


Рисунок 3 – **Структурная схема системы измерения боковой силы**

Перед каждым циклом измерений обязательна балансировка тензометрических мостов датчиков ДСТ-9035, особенно при изменении температуры или после замены датчиков. Начальный коэффициент передачи датчиков составляет 2,5 % от рабочего, что требует компенсации.

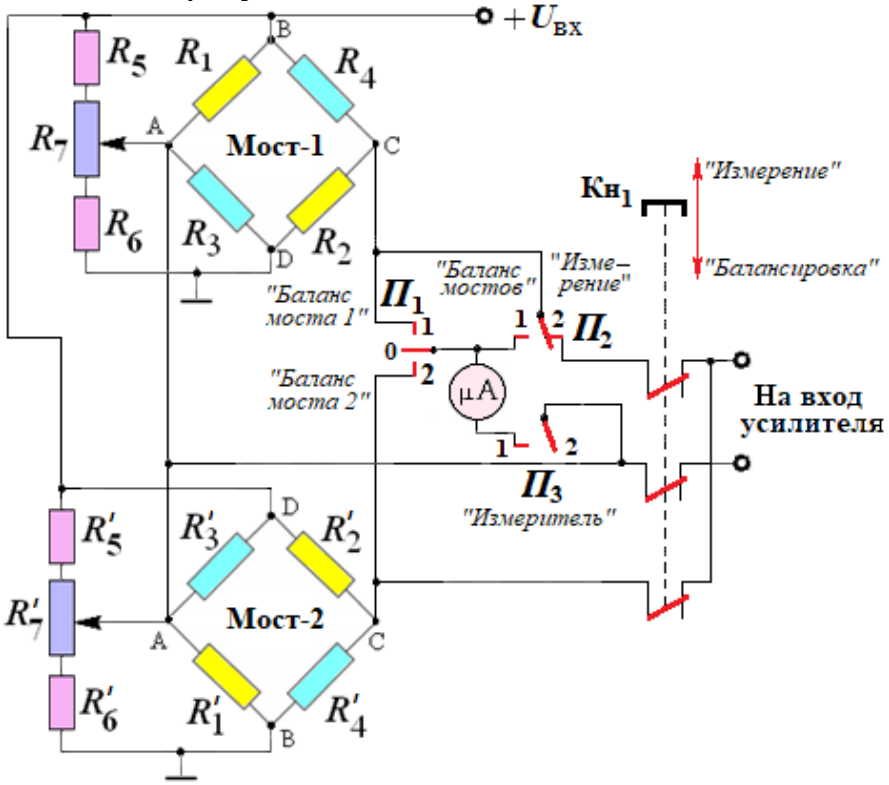
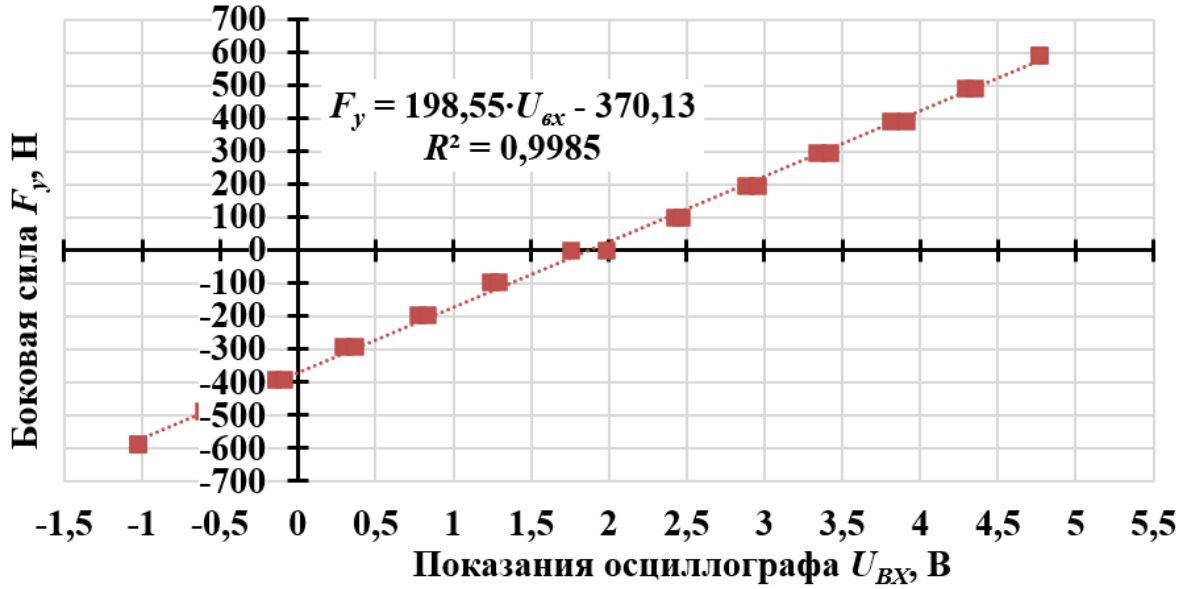


Рисунок 4 – **Схема, обеспечивающая балансировку измерительных мостов датчиков ДСТ-9035, измеряющих боковые силы на колесе**

Схема балансировки включает: мосты 1 и 2, переменные резисторы *R*7 и *R*7', защитные резисторы *R*5, *R*6, микроамперметр М2001-М1 (пределы ±50 мкА), трёхпозиционный переключатель *П*1 для выбора моста, двухпозиционный переключатель *П*2 для выбора режима «Баланс мостов» / «Измерение» и кнопку Кн1.

Для оценки пригодности системы проведена тарировка – экспериментальное определение зависимости выходного сигнала от известной входной величины. В конструкции стенда предусмотрены два нагружающих устройства, расположенные на противоположных сторонах оси барабана.

Рассмотрим методику тарирования подробнее: Система дискретно нагружалась эталонными грузами по 100 Н в диапазоне от 0 до 600 Н (6 точек).



Ось Y: Усилие на датчике, F_y [Н]; ось X: Показания на приборе $U_{ВХ}$).

Рисунок 5 – **Тарировочный график**

Затем постепенно разгружалась с тем же шагом. Тарировка выполнялась дважды – для каждого нагружающего устройства. По результатам построен тарировочный график, имеющий вид петли гистерезиса, что объясняется трением между элементами системы.

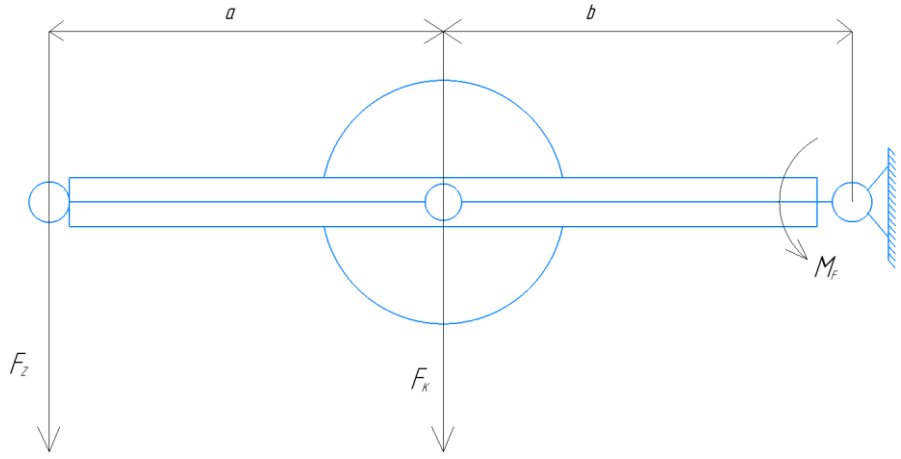


Рисунок 6 – **Плечо, подвешенного груза относительно колеса**

После тарировки проведены поисковые испытания с целью измерения поперечной силы F_y при постоянной скорости вращения колеса 1000 об/мин. Варьировались угол наклона γ и угол увода δ шины при двух уровнях нагружения: F_{z1} и F_{z2}.

Стоит отметить, что на колесо действует нагрузка не равна F_z, потому что груз подвешен относительно колеса на плече a и нагрузка $= F_к$

Чтобы найти значение $F_к$ для обоих режимов нагружения нужно определить момент силы M_F, возникающего в результате действия силы подвешенного груза F_z на точку опоры на плече $a + b$.

Используем уравнение определения момента силы M, Н·м:

$$M_F = F_z \cdot (a + b), \quad (3)$$

где F_z – сила тяжести груза, Н;

a, b – плечи действия силы, м.

После нахождения M_F необходимо вычислить силу $F_{к1}$ с помощью уравнения:

$$F_к = \frac{M_F}{b}. \quad (3)$$

Значения $F_{к1}$ и $F_{к2}$ показывают реальную силу, которая воспринимает колеса

Таким образом разработана измерительная система стенда для определения характеристик шин СИМ, а также проведены поисковые эксперименты. Практическая значимость данной работы заключается в доступности инструмента для производителей СИМ и шин, лабораторий.

Список литературы

1) *Медведев, А.М.* Печатные платы. Конструкции и материалы. М. : Техносфера, 2005.

2) Описания двухкомпонентного датчика силы [Электронный ресурс]: интернет-магазин «INPINK».

3) Описания трёх осевого датчика силы [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании «KISTLER».

4) Перссон Б.Н. Трение скольжения: физические принципы и приложения; Springer Science & Business Media: Берлин/Гейдельберг, Германия, 2013; ISBN 3662042835.

5) *Федотов, А.И.* Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов" Иркутск. ИрГТУ, 2012.

Сведения об авторе

Коновалов Даниил Максимович – студент, кафедра Автомобильный транспорт, строительные и дорожные машины, Иркутский национальный исследовательский технический университет, (664074, г. Иркутск, ул.Лермонтова, 83, Российская Федерация тел.: 89041454464, email: konovalovdaniil2004@gmail.com).

Гоненко Родион Русланович – студент, кафедра Автомобильный транспорт, строительные и дорожные машины, Иркутский национальный исследовательский технический университет, (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Российская Федерация тел.: 89501030282).

Information about the authors

Konovalov Daniil M. – student, department of motor transport, construction and road machinery, irkutsk national research technical university, 83 Lermontov st., Irkutsk, (664074, Russian Federation tel.: 89041454464, email: konovalovdaniil2004@gmail.com).

Gonenko Rodion R. – student, department of automotive transport, construction and road machines, Irkutsk national research technical university, (664074, Irkutsk, Lermontova street, 83, Russian Federation tel.: 89501030282).

УДК 629.3.01

РАЗРАБОТКА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МОТОРНОГО МАСЛА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ ДИЭЛЕКТРОСКОПИИ

М.Ю. Копылова, М.И. Напортович

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет
Иркутск, Россия

Аннотация. Рассмотрена разработка бортовой системы контроля параметров моторного масла, основанной на измерении диэлектрической проницаемости ёмкостным методом. Приведено понятие диэлектрической проницаемости и её связь с состоянием масла. Описана конструкция измерительной ячейки и электронная схема на базе *Arduino Nano* и *RC*-генератора на *LM*358. Представлены результаты лабораторных и производственных экспериментов. Установлено, что дизельное топливо дает наибольший рост ε (до 11,2 %), сажа – до 7,7 %, металлические частицы – до 8,5 %. В реальных условиях изменение ε зависит от деградации присадок и технического состояния двигателя.

Ключевые слова: моторное масло, диэлектрическая проницаемость, ёмкостной датчик, *Arduino*, *RC*-генератор, бортовая система контроля, старение масла, загрязнение масла.

DEVELOPMENT OF AN ON-BOARD SYSTEM FOR MONITORING ENGINE OIL PARAMETERS OF MOTOR VEHICLES BY DIELECTROSCOPY

M.Y. Kopylova, M.I. Naportovich

FSBEI HE Irkutsk national research technical university
Irkutsk, Russia

Annotation. The development of an on-board system for monitoring engine oil parameters based on measuring the dielectric constant by the capacitive method is considered. The concept of dielectric constant and its relationship with oil condition is given. The design of the measuring cell and the electronic circuit based on Arduino Nano and an RC oscillator on LM358 are described. The results of laboratory and production experiments are presented. It has been established that diesel fuel gives the greatest increase in ε (up to 11,2 %), soot – up to 7,7 %, metal particles – up to 8,5 %. Under real conditions, the change in ε depends on additive degradation and the technical condition of the engine.

Key words: engine oil, dielectric constant, capacitive sensor, Arduino, RC oscillator, on-board monitoring system, oil aging, oil contamination.

Моторное масло играет важную роль в обеспечении надёжной и долговечной работы двигателя внутреннего сгорания. В процессе эксплуатации его свойства изменяются: изменяется вязкость, масло окисляется, накапливает сажу,

металлические частицы, воду и кислоты. Замена масла по регламенту, через фиксированный пробег или интервал времени, не учитывает реальные условия эксплуатации, что приводит либо к преждевременной замене, либо к риску повреждения двигателя. Внедрению комплексного подхода к определению технического состояния препятствует недостаток знаний о возможности применения средств бортовой самодиагностики, в частности о научно-обоснованных параметрах, отражающих эти изменения. Поэтому выполнение научного исследования, направленного на снижение производственных и финансовых затрат, является актуальным.

Целью работы является разработка бортовой системы контроля параметров моторного масла на основе метода диэлектроскопии и экспериментальное обоснование возможности идентификации различных видов загрязнений, таких как сажа, дизельное топливо и продукты износа, по изменению диэлектрической проницаемости.

Для достижени поставленной цели необходимо решить следующие задачи: провести анализ существующих бортовых систем, разработать конструкцию ёмкостного датчика и электронную схему, создать алгоритм и программное обеспечение, провести лабораторные и производственные эксперименты, а также установить зависимости между содержанием загрязнителей и диэлектрической проницаемостью.

Диэлектрическая проницаемость (ε) представляет собой фундаментальную физическую величину, характеризующую способность материала поляризоваться под действием электрического поля. Моторное масло является диэлектриком: оно не проводит электрический ток, но поляризуется в электрическом поле. Различают электронную и дипольную поляризацию, причём в моторных маслах преобладает дипольная поляризация, обусловленная наличием полярных молекул – продуктов окисления, присадок и загрязнений. Физический смысл ε раскрывается через ещё определение: она показывает, во сколько раз сила взаимодействия электрических зарядов в данной среде меньше, чем в вакууме. Для вакуума $\varepsilon = 1$, для воздуха $\varepsilon \approx 1{,}0006$, для моторных масел характерные значения лежат в диапазоне от 2,0 до 2,6 в зависимости от химического состава, вязкости и типа присадок.

Ёмкость плоского конденсатора, заполненного маслом, определяется выражением (1):

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}, \quad (1)$$

где C – ёмкость ячейки, заполненной диэлектриком, Ф;
ε_0 – электрическая постоянная, равная $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;
ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды;
S – площадь перекрытия пластин, м²;
d – зазор между пластинами, м.

В процессе эксплуатации в масле накапливаются полярные продукты окисления, такие как кислоты, спирты и альдегиды, а также продукты деструкции присадок и загрязнения, включая сажу, металлы и воду. Это изменяет дипольный момент системы и, как следствие, диэлектрическую проницаемость.

Исследования показывают, что ε возрастает пропорционально времени эксплуатации масла. Для бортовой системы наиболее подходит ёмкостной метод, основанный на измерении ёмкости конденсатора, заполненного маслом. Его преимуществами являются простота конструкции, высокая надёжностью за счёт отсутствия подвижных элементов, низкая стоимость и возможность непрерывного мониторинга. Именно этот метод используется в системах ведущих автопроизводителей, таких как *Mercedes-Benz ASSYST*, *BMW CBS* и *Volkswagen Group*.

Разработанная бортовая система включает ёмкостную измерительную ячейку, *RC*-генератор на операционном усилителе *LM*358, микроконтроллер *Arduino Nano* и программное обеспечение для обработки сигнала. Измерительная ячейка представляет собой плоский конденсатор из двух латунных пластин размером 50×50 мм.

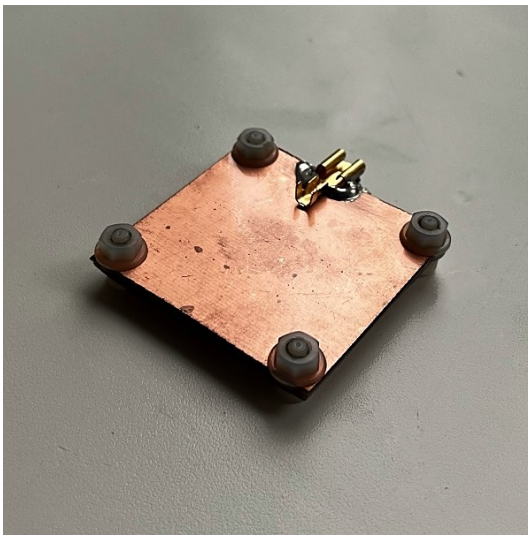


Рисунок 1 – **Конструкция измерительной ячейки**

Зазор между пластинами 1 мм и обеспечивается шайбами из материала, который не проводит электрический ток, установленными по углам. Фиксация пластин осуществляется неметаллическими винтами и гайками, что исключает влияние крепежа на электрическое поле.

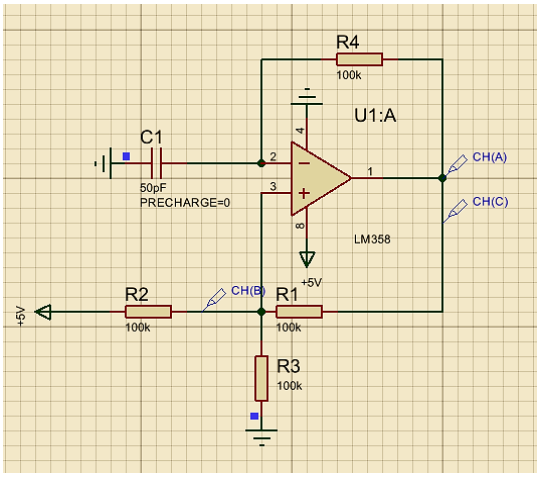


Рисунок 2 – **Принципиальная электрическая схема *RC*-генератора в программе *Proteus***

Ячейка включена во времязадающую цепь *RC*-генератора. Частота генератора связана с ёмкостью выражением (2):

$$f = \frac{1}{2{,}2 \cdot R \cdot C}, \quad (2)$$

где R – сопротивление времязадающего резистора (100 кОм),
C – ёмкость измерительной ячейки.

В координатах «Период-ёмкость» зависимость становится линейной и описывается уравнением (3):

$$T = A \cdot C_{яч} + B. \quad (3)$$

Коэффициенты A и B определены методом наименьших квадратов по трём реперным точкам, полученным с помощью эталонного *LCR*-метра *UNI-T UT*612, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – **Результаты многоточечной тарировки измерительной системы**

Среда	**Ёмкость C, пФ (*UT*612)**	**Частота f, Гц**	**Период T, с**
Воздух	46,0	37 250	0,000026846
Чистое масло	82,0	26 130	0,000038270
Масло + 6 % антифриза	101,0	24 170	0,000041374

Пересчёт измеренной частоты в ёмкость выполняется по формуле (4):

$$C = \frac{T - B}{A} = \frac{(1.0/f) - 0{,}00001469344}{0{,}0000002641617}. \quad (4)$$

Диэлектрическая проницаемость рассчитывается методом нормирования по воздушному эталону по формуле (5):

$$\varepsilon = \frac{C_{изм}}{C_{возд}} = \frac{C_{изм}}{46{,}0}, \quad (5)$$

где $C_{изм}$ – измеренная ёмкость ячейки с исследуемой средой, пФ.

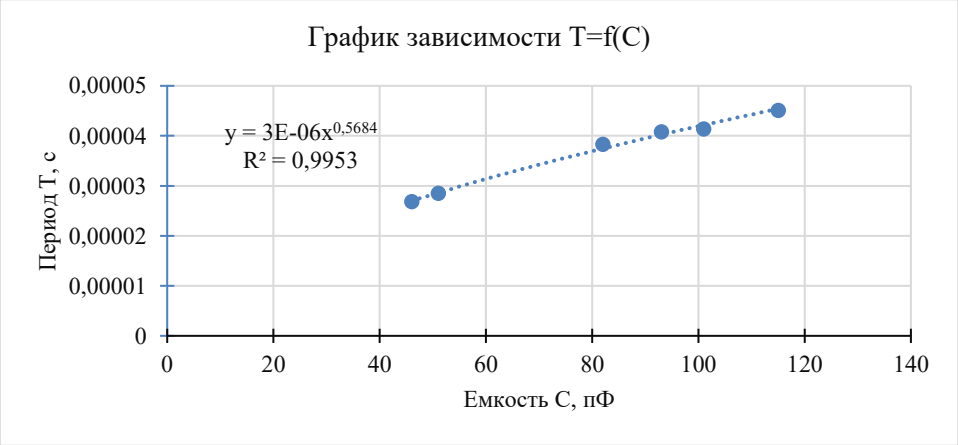


Рисунок 3 – **Калибровочная кривая зависимости периода сигнала от ёмкости измерительной ячейки**

Измерение частоты реализовано на аппаратном таймере-счётчике *Arduino Nano*. Сигнал с выхода *LM*358, а именно с вывода 7, подается на цифровой вход *D*2. Для повышения точности выполняется серия из тех замеров с последующим усреднением. Погрешность измерений после калибровки составила менее 1 %.

Экспериментальные исследования проводились на пробах моторного масла *PETRO-CANADA HEAVY DUTY* 15*W*-40, отобранных из двигателей автобусов, эксплуатируемых в ТК «Автоколонна 1880». Всего было отобрано 32 пробы с наработкой 4000, 8000 и 15000 км. Отбор проб на пробегах 4000 и 8000 км осуществлялся через масляный щуп с помощью шприца и удлинённой

трубки, на пробеге 15000 км – из масляного фильтра при плановом техническом обслуживании. Измерения проводились на разработанной установке.

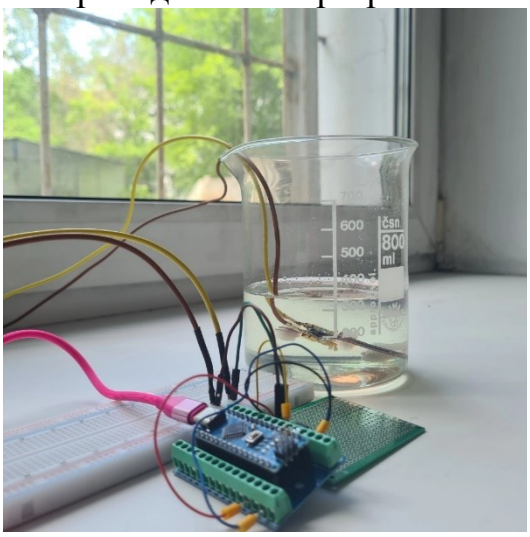


Рисунок 3 – **Измерительная установка на базе *Arduino Nano***

Результаты измерений диэлектрической проницаемости для исследованных автобусов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – **Значения диэлектрической проницаемости моторных масел исследуемых автобусов в зависимости от наработки**

Бортовые номера исследуемых автобусов	**Пробег, км**		
	4000	**8000**	**15000**
	диэлектрическая проницаемость		
Новое масло	2,6		
101	2,48	2,.37	2,32
103	2,43	2,45	2,39
105	2,20	2,27	2,34
112	2,37	2,32	2,30
116	2,34	2,30	2,26
118	2,43	2,48	2,28
120	-	2,54	2,51
124	-	2,32	2,43
703	2,41	2,36	2,34
709	2,54	2,42	2,32
719	2,35	2,29	2,54

Зависимости изменения диэлектрической проницаемости ε от наработки для исследованных автобусов представлены на рисунке 4.

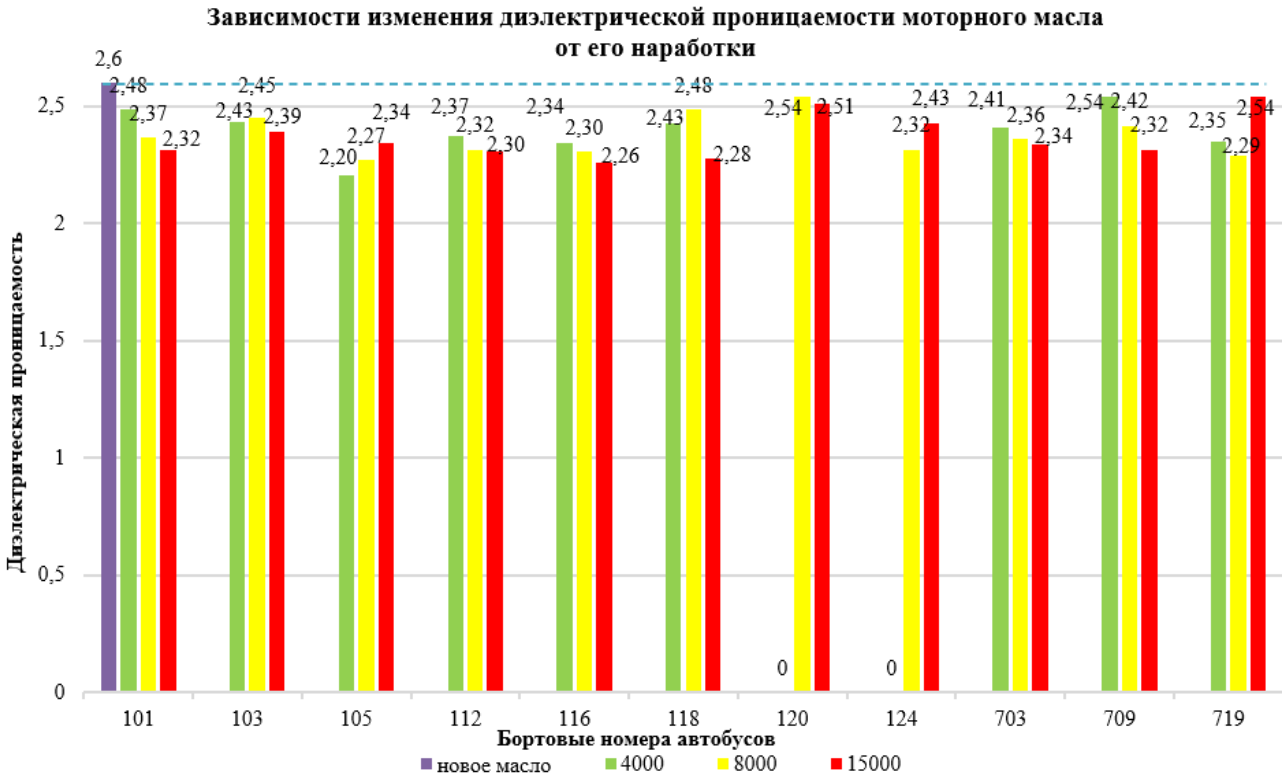


Рисунок 4 – **Зависимости изменения диэлектрической проницаемости моторных масел от их наработки**

Анализ полученных данных показывает, что в реальных условиях эксплуатации для большинства автобусов наблюдается снижение ε при увеличении наработки. Например, для автобуса № 101 ε снижается с 2,48 (4000 км) до 2,32 (15000 км), что соответствует уменьшению на 6,5 %. Для автобуса № 116 ε уменьшается с 2,34 до 2,26 (снижение на 3,4 %), для № 703 – с 2,41 до 2,34 (снижение на 2,9 %).

Такое поведение объясняется тем, что в процессе эксплуатации наряду с накоплением загрязнений происходит деструкция полярных присадок, которые в свежем масле являются основным источником полярных молекул и определяют величину диэлектрической проницаемости. По мере выработки присадок их концентрация уменьшается, что приводит к снижению общего дипольного момента системы и, как следствие, к уменьшению ε.

Для некоторых автобусов наблюдается рост ε с увеличением наработки. Для автобуса № 105 ε увеличивается с 2,20 (4000 км) до 2,34 (15000 км), что соответствует росту на 6,4 %. Это характерно для классического процесса старения масла с преобладанием загрязнения над деструкцией присадок. Автобус № 719 демонстрирует рост ε с 2,35 до 2,54 (увеличение на 8,1 %), что свидетельствует о значительном накоплении загрязнений в масле к моменту замены.

Наибольший разброс значений ε наблюдается при пробеге 15000 км: значения варьируются от 2,26 (автобус № 116) до 2,54 (автобус № 719). Столь значительный разброс подтверждает, что состояние масла определяется не только его наработкой, но и условиями эксплуатации двигателя и регулярностью доливок моторного масла. Также обращает на себя внимание тот факт, что для многих автобусов значение ε при пробеге 15000 км оказывается ниже значения для

нового масла (2,60). Это дополнительно подтверждает, что определяющим фактором изменения ε в производственных условиях является не накопление загрязнений, а срабатывание полярных присадок.

Таким образом, разработана бортовая система контроля параметров моторного масла на основе ёмкостного метода, включающая измерительную ячейку, *RC*-генератор на *LM*358 и микроконтроллер *Arduino Nano*. В лабораторных условиях установлено, что все три вида загрязнений приводят к росту ε. Наибольшее влияние оказывает дизельное топливо, затем металлические частицы и сажа. В производственных условиях показано, что изменение ε зависит не только от наработки, но и от деструкции присадок и технического состояния двигателя. Диэлектрическая проницаемость является интегральным параметром, чувствительным как к накоплению загрязнений, так и к срабатыванию присадок, что подтверждает её пригодность для бортовой диагностики.

Список литературы

1. *Григоров А.Б., Наглюк И.С.* Диэлектрические свойства моторных масел // Автомобильный транспорт. – Харьков : ХНАДУ. – 2009. – № 24. – С. 85-88.

2. *Григоров А.Б., Карножицкий П.В., Наглюк И.С.* Изменение диэлектрической проницаемости дизельных моторных масел в эксплуатации // Автомобильный транспорт. – Харьков : ХНАДУ. – 2007. – № 20. – С. 95-97.

3. *Григоров А.Б., Наглюк И.С., Карножицкий П.В.* Уточнение сроков смены моторных масел при их эксплуатации в автобусах «Богдан»-А091 и ПАЗ-4234 // Автомобильный транспорт. – Харьков : ХНАДУ. – 2008. – № 23. – С. 85-88.

4. *Долгова Л.А., Салмин В.В.* Методика определения показателей качества моторного масла на основе теории подобия // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 2. – Ч. 2.

5. *Долгова Л.А., Салмин В.В.* Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. – 2012. – № 2-1. – С. 46-56.

6. *Науменко А.М., Темкин Д.А.* Изменение диэлектрических характеристик моторного масла в процессе эксплуатации // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2023. – № 2. – С. 6-11.

7. *Изместьев И.В., Новиков В.В.* Исследование моторного масла на основе данных эксперимента и моделирования его диэлектрических свойств // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. – 2013. – № 1 (23). – С. 84-87.

8. *Изместьев И.В., Кожевникова О.А.* Поляризация и электропроводность некоторых моторных масел как дисперсных систем // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. – 2016. – № 1 (32). – С. 43–50.

9. *Колода А.В., Маркин Д.А.* Анализ физико-химических параметров моторного масла, характеризующих процесс его старения // Международный научный журнал «Вестник науки». – 2025. – № 5 (86). – Т. 4. – С. 1586-1595.

10. *Наглюк И.С., Григоров А.Б.* Изменение диэлектрических свойств моторного масла под совместным воздействием разных видов загрязнений // Автомобильный транспорт. – Харьков : ХНАДУ. – 2011. – № 28. – С. 91-95.

11. *Надь Ш.Б.* Диэлектрометрия. – Москва : Энергия, 1976. – 200 с.

12. *Борисова М.Э., Койков С.Н.* Физика диэлектриков. – Ленинград : Издательство Ленинградского университета, 1979. – 240 с.

Сведения об авторах

Копылова Мария Юрьевна – студент, кафедра Автомобильный транспорт, строительные и дорожные машины, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Российская Федерация (e-mail: maria38irk@inbox.ru).

Напортович Мария Ивановна – студент, кафедра Автомобильный транспорт, строительные и дорожные машины, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Российская Федерация.

Information about the authors

Kopylova Maria Yu. – student, department of automobile transport, construction and road machines, Irkutsk national research technical university, 664074, Irkutsk, Lermontov st., 83, Russian Federation (e-mail: maria38irk@inbox.ru).

Naportovich Maria I. – student, department of automobile transport, construction and road machines, Irkutsk national research technical university, 664074, Irkutsk, Lermontov st., 83, Russian Federation.

УДК 631.3-049.32

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В АПК: ОБЗОР И АНАЛИЗ

Р.И. Курбанов, Ц.В. Цэдашиев, П.И. Ильин

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы диагностирования машин и оборудования в агропромышленном комплексе. Анализируются как традиционные методы (диагностирование топливной системы, двигателя по диаграмме прокручивания коленчатого вала), так и современные цифровые технологии. Особое внимание уделяется вопросам приспособленности машин к диагностированию, а также специфике обслуживания систем рециркуляции отработавших газов (EGR) на современных дизельных двигателях. Обосновывается необходимость комплексного подхода к организации технического обслуживания для повышения эффективности и надежности сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: диагностирование, АПК, техническое обслуживание, топливная система, ДВС, цифровые технологии, контролепригодность, система EGR, нейронные сети.

MODERN METHODS AND SYSTEMS FOR DIAGNOSING MACHINES AND EQUIPMENT IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX: REVIEW AND ANALYSIS

R.I. Kurbanov, Ts.V. Tsedashiev, P.I. Ilyin

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article deals with current issues of diagnostics of machines and equipment in the agro-industrial complex. Both traditional methods (diagnostics of the fuel system, engine

diagnostics by the crankshaft cranking diagram) and modern digital technologies are analyzed. Particular attention is paid to the issues of machine adaptability to diagnostics, as well as the specifics of maintenance of exhaust gas recirculation (EGR) systems on modern diesel engines. The necessity of an integrated approach to the organization of maintenance to improve the efficiency and reliability of agricultural machinery is substantiated.

Key words: diagnostics, agro-industrial complex, maintenance, fuel system, internal combustion engine, digital technologies, testability, EGR system, neural networks.

Эффективность сельскохозяйственного производства напрямую зависит от технической готовности машинно-тракторного парка. Тракторы, комбайны и другие агрегаты работают в условиях повышенных нагрузок, запылённости, влажности и перепадов температур, что неизбежно приводит к износу узлов и агрегатов. В этих условиях своевременное и качественное диагностирование становится ключевым фактором предотвращения аварийных поломок, снижения простоев и поддержания высокой производительности техники. Современная диагностика в АПК развивается по нескольким направлениям: от совершенствования классических методов оценки состояния отдельных систем до внедрения цифровых технологий и комплексной оценки приспособленности машин к контролю [2].

Диагностирование топливной системы (на примере МТЗ-82). Топливная система является одним из наиболее уязвимых элементов трактора. Для её диагностирования применяется комплекс методов, включающий визуальный осмотр, проверку давления и анализ качества топлива [1]. Визуальный осмотр позволяет выявить подтёки, повреждения топливопроводов и фильтров. Проверка давления топлива с помощью манометра, даёт возможность оценить работоспособность насоса и степень засорения фильтров. Диагностика насосов включает проверку на отсутствие шумов и вибраций, а также оценку производительности. Важным этапом является проверка форсунок на герметичность, так как это напрямую влияет на качество сгорания топлива и, следовательно, на мощность двигателя. Анализ качества топлива, включая проверку на наличие воды и примесей, также имеет ключевое значение для предотвращения образования отложений и неисправностей. Совокупность этих методов позволяет своевременно выявлять неисправности и обеспечивать надежное функционирование топливной системы.

Современные исследования расширяют методы диагностирования топливных систем высокого давления дизелей, в том числе с использованием цифровых осциллографов и данных OBD [10].

Диагностирование двигателя внутреннего сгорания по диаграмме прокручивания. Перспективным методом безразборной диагностики двигателя является анализ диаграммы прокручивания коленчатого вала [6]. Суть метода заключается в измерении момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала в зависимости от угла его поворота с помощью специального измерительного устройства. Сравнение полученной диаграммы с эталонной, соответствующей нормальному техническому состоянию, позволяет ставить диагноз. В частности, данный метод позволяет выявлять разрегулировки клапанов каждого цилиндра и нарушения герметичности камеры сгорания (например, из-за износа колец или

поршней). Изменение формы и характера зависимости момента сопротивления от угла поворота вала является индикатором конкретных неисправностей.

Таблица 1 – **Методы диагностирования топливной системы**

Метод	Что проверяется	Инструменты / средства
Визуальный осмотр	Подтёки, повреждения трубопроводов, фильтров	Визуально
Проверка давления	Работоспособность насоса, засорение фильтров	Манометр
Диагностика насоса	Шумы, вибрации, производительность	Стетоскоп, стенд
Проверка форсунок	Герметичность, качество распыла	Стенд для форсунок
Анализ топлива	Наличие воды, примесей	Лабораторный анализ
Цифровые методы (OBD, осциллограф)	Параметры высокого давления	OBD-сканер, цифровой осциллограф

Дальнейшее развитие этого направления связано с диагностированием неисправностей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов по графикам мгновенной частоты вращения коленчатого вала [7].

Таблица 2 – **Сравнение методов диагностирования ДВС по параметрам вращения коленчатого вала**

Параметр сравнения	Диаграмма прокручивания	График мгновенной частоты вращения
Измеряемая величина	Момент сопротивления от угла поворота	Мгновенная частота вращения
Выявляемые неисправности	Разрегулировка клапанов, нарушение герметичности камеры сгорания	Неисправности КШМ и ГРМ, снижение компрессии
Средства измерения	Специальное измерительное устройство	Датчик частоты вращения, осциллограф

Цифровизация активно проникает в сферу технического обслуживания и диагностики автомобилей и сельхозтехники. Использование специализированного программного обеспечения позволяет проводить калибровку системы впрыска и настройку двигателей, что значительно облегчает диагностику и повышает качество обслуживания [3]. Цифровые технологии применяются для инструментального контроля автотранспортных средств, позволяя оперативно выявлять отклонения от заданных параметров. Внедрение цифровых решений, таких как сканеры для электронных систем, становится неотъемлемой частью современной системы технического обслуживания на агропредприятиях.

Новейшие стандарты, в частности ГОСТ 35318-2025, устанавливают требования к онлайн-мониторингу технического состояния тракторов с использованием *CAN*-шины, нейронных сетей и цифровых технологий [5]. Современные технологии ресурсной диагностики и контроля технического состояния сельскохозяйственной техники всё шире применяют искусственный интеллект и нейронные сети [7]. Практические примеры удалённого мониторинга с датчиками приближения и бортовым компьютером описаны в работе [9]. Устройства для оценки и прогнозирования технического состояния сельхозмашин на основе

цифровых датчиков и виртуальных технологий [7]. Оценка режимов работы сельскохозяйственной техники также становится частью цифровой диагностики [9].

Таблица 3 – **Цифровые технологии и стандарты в диагностировании техники АПК**

Технология / документ	Назначение
ГОСТ 35318-2025	Онлайн-мониторинг состояния тракторов (CAN-шина, нейронные сети)
Нейронные сети, ИИ	Ресурсная диагностика, прогнозирование состояния
Удалённый мониторинг (датчики приближения, бортовой компьютер)	Оценка режимов работы техники
Устройство Gabitov и др.	Оценка и прогнозирование технического состояния сельхозмашин
Оценка режимов работы	Часть цифровой диагностики
OBD-сканеры, цифровые осциллографы	Диагностика топливных систем высокого давления

Эффективность процесса диагностирования во многом зависит от того, насколько сама машина приспособлена к проведению контрольных операций. Эта характеристика называется контролепригодностью. Опыт показывает, что от приспособленности объекта к диагностированию конкретными средствами значительно зависит реализация самого процесса [8]. Ключевыми показателями контролепригодности являются оперативная трудоёмкость и доступность. Оперативная трудоёмкость характеризует затраты времени на проведение диагностических операций, а доступность – удобство подхода к контролируемым узлам для установки измерительных преобразователей. Для оценки контролепригодности используются коэффициенты полноты диагностирования и обеспеченности типовыми устройствами сопряжения. Чем выше значения этих коэффициентов, тем меньше монтажно-демонтажных работ требуется при диагностике и тем эффективнее процесс в целом.

Базовые требования к приспособленности тракторов к диагностированию закреплены в ГОСТ 24925-81 [4].

Таблица 4 – **Показатели контролепригодности машин**

Показатель	Характеристика	Влияние на процесс диагностирования
Оперативная трудоёмкость	Затраты времени на диагностические операции	Снижение трудоёмкости повышает эффективность
Доступность	Удобство подхода к контролируемым узлам	Упрощает установку измерительных преобразователей
Коэффициент полноты диагностирования	Степень охвата контролем всех неисправностей	Высокий коэффициент – меньше пропущенных дефектов
Коэффициент обеспеченности типовыми устройствами сопряжения	Наличие стандартных средств подключения	Уменьшает монтажно-демонтажные работы

Современные дизельные двигатели, соответствующие экологическим нормам, оснащаются системами рециркуляции отработавших газов (*EGR*). Эти

системы, направляя часть выхлопных газов обратно во впускной коллектор (обычно от 5 до 25 % в зависимости от режима работы), подвержены интенсивному закоксовыванию сажей. Диагностика неисправностей *EGR* включает визуальный контроль и очистку клапана и заслонки, а также мониторинг кодов ошибок и данных в реальном времени с помощью диагностического оборудования [11]. Признаками неисправности могут служить потеря мощности и чёрный дым (если клапан не закрывается при полной нагрузке) или нестабильная работа на холостом ходу (если клапан остаётся открытым). Для поддержания работоспособности системы необходимо также следить за состоянием воздушных фильтров, датчиков массового расхода воздуха (*MAF* / *MAP*) и сажевого фильтра (*DPF*).

Современные методы машинного обучения, включая нейронные сети и метод опорных векторов, позволяют обнаруживать характерные изменения в системах впуска и выпуска дизельных двигателей, что открывает новые возможности для диагностирования *EGR* [7].

Таблица 5 – **Признаки неисправностей системы *EGR* и методы их диагностирования**

Признак неисправности	**Возможная причина**	**Метод диагностирования**
Потеря мощности, чёрный дым	Клапан *EGR* не закрывается при полной нагрузке	Визуальный контроль, мониторинг кодов ошибок
Нестабильная работа на холостом ходу	Клапан *EGR* остаётся открытым	Диагностическое оборудование, проверка данных в реальном времени
Закоксовывание сажей	Интенсивное отложение сажи	Очистка клапана и заслонки
Отклонения в работе датчиков *MAF* / *MAP*	Загрязнение датчиков	Проверка состояния датчиков, DPF
Характерные изменения в системах впуска и выпуска	Различные неисправности *EGR*	Нейронные сети, метод опорных векторов

Современное диагностирование машин и оборудования в АПК представляет собой комплексную систему, объединяющую традиционные методы контроля (давление, вибрация, анализ диаграмм) с новейшими цифровыми технологиями. Ключевыми тенденциями являются переход к безразборным методам, повышение роли программного обеспечения и углублённый анализ специфических систем, таких как *EGR*. При этом важнейшим резервом повышения эффективности диагностики остаётся улучшение контролепригодности самой техники на этапе проектирования. Комплексный подход, учитывающий все эти аспекты, является основой для надёжной и долговечной работы сельскохозяйственной техники, что в конечном счёте определяет эффективность всего агропромышленного производства.

Список литературы

1. *Бабкина, В.А.* Методы диагностирования топливной системы МТЗ-82 / *В.А. Бабкина, Ц.В. Цэдашиев* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК : Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Энергетического факультета

Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 12 декабря 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 7-8. – EDN XRMXKD.

2. *Бабкина, В.А.* Системы диагностирования машин и оборудования в АПК / *В.А. Бабкина* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, п. Молодежный, 06-07 ноября 2025 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 52-53. – EDN PKWAIB.

3. *Бобров, С.О.* Применение цифровых технологий в контроле технического состояния автомобилей / *С.О. Бобров* // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области : Сборник тезисов очно-заочной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки, п. Молодежный, 06 февраля 2026 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 86-87. – EDN KCUCBD.

4. ГОСТ 24925-81. Техническая диагностика. Тракторы. Приспособленность к диагностированию. Общие технические требования. – Москва : Издательство стандартов, 1981.

5. ГОСТ 35318-2025. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Онлайн-мониторинг технического состояния. Порядок проведения : введен в действие Приказом Росстандарта от 08.10.2025 № 1167-ст. – Москва : Российский институт стандартизации, 2025.

6. *Егоров, И.Б.* Диагностирование двигателя внутреннего сгорания по форме и виду диаграммы прокручивания коленчатого вала / *И.Б. Егоров, П.И. Ильин, Ц.В. Цэдашиев* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. В III томах, Иркутск, 16-17 февраля 2023 года. Том II. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 68-72. – EDN UAIZMA.

7. *Журавлев, С.Ю.* Современные технологии ресурсной диагностики и контроля технического состояния сельскохозяйственной техники / *С.Ю. Журавлев* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2026. - № 8 (262). – С. 65-72. – DOI 10.53083/1996-4277-2026-262-8-65-72.

8. *Ильин, П.И.* Показатели приспособленности и их влияние на процесс диагностирования машин / *П.И. Ильин, С.А. Филиппов* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 14-15 марта 2019 года. Том II. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. – С. 152-160. – EDN BWRNNZ.

9. *Костомахин, М.Н.* Оценка режимов работы сельскохозяйственной техники / *М.Н. Костомахин* // Агроинженерия. – 2024. - № 12. – С. 45-52.

10. *Никоноров, А.А.* Процедура восстановления номинальной пропускной способности дроссельного узла / *А.А. Никоноров, О.И. Самбарова, Ц.В. Цэдашиев* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК : Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Энергетика, Иркутск, 11 декабря 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 130-131. – EDN ALBDEO.

11. Особенности технического обслуживания и диагностирования систем рециркуляции отработавших газов на современных дизельных двигателях / *С.С. Тирских, О.И. Самбарова, Н.В. Степанов, Ц.В. Цэдашиев* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК : Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Энергетика, Иркутск, 11 декабря 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 184-185. – EDN WHIVNB.

Сведения об авторах

Курбанов Руслан Ихтиярович – студент второго курса инженерного факультета Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79241034515, e-mail: kurbanov07132007@gmail.com).

Цэдашиев Цырендаши Владимирович – старший преподаватель кафедры ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, т.: +79500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).
Ильин Петр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасность жизнедеятельности и профессиональное обучение» инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89025191511, e-mail: ipi.academy@mail.ru).

Information about the authors
Kurbanov Ruslan I. – second-year student, faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsky district, Irkutsk region, 664038, Russia; tel.: +79241034515; e-mail: kurbanov07132007@gmail.com).
Tsedashiev Tsyrendashi V. – senior lecturer at the department of agricultural machinery and technologies, occupational safety, and vocational training, Irkutsk state agrarian university (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement; tel.: +79500834583; e-mail: thedashiev@mail.ru).
Ilyin Petr I. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of machine and tractor fleet operation, life safety and professional training. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 89025191511, e-mail: ipi.academy@mail.ru).

УДК 631.173:621.436

ИНФОРМАЦИОННАЯ САМОДОСТАТОЧНОСТЬ МЕТОДОВ ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.Ф. Курносов

ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий
Новосибирск, Россия

Аннотация. Предложен признак классификации методов диагностирования двигателей − информационная самодостаточность, определяемая объёмом сведений, привлекаемых извне, и числом параметров технического состояния, определяемых одним измерительным каналом. Выполнен анализ основных групп методов. Показано, что силовые методы, основанные на регистрации реакций опор, обладают наибольшей информационной самодостаточностью: они требуют лишь однократно измеряемой геометрии установки и позволяют одним каналом определять как энергетические показатели, так и состояние отдельных цилиндров.

Ключевые слова: техническое обслуживание, оперативное диагностирование, двигатель внутреннего сгорания, диагностический параметр, реакции опор, информационная самодостаточность, эксплуатация машин.

INFORMATION SELF-SUFFICIENCY OF METHODS FOR RAPID ENGINE DIAGNOSTICS

A.F. Kurnosov

FSBEI HE Siberian state university of engineering and biotechnology
Novosibirsk, Russia

Annotation. A classification feature for engine diagnostic methods is proposed − information self-sufficiency, determined by the amount of externally obtained data and by the number of technical condition parameters determined through a single measuring channel. An analysis of the main groups of methods is carried out. It is shown that force methods based on recording engine mount reactions have the highest information self-sufficiency: they require only the installation geometry measured once and allow a single channel to determine both power performance and the condition of individual cylinders.

Key words: maintenance, rapid diagnostics, internal combustion engine, diagnostic parameter, engine mount reactions, information self-sufficiency, machine operation.

Техническая готовность машинно-тракторного парка определяется своевременностью выявления ухудшения технического состояния двигателей. Условия эксплуатации предъявляют к средствам диагностирования жёсткие требования: работа без демонтажа двигателя и без применения нагрузочных устройств, ограниченная продолжительность операции, возможность выполнения силами линейного персонала. Указанные требования вступают в противоречие с полнотой получаемого диагноза, поскольку наиболее информативные методы, как правило, оказываются и наиболее ресурсоёмкими.

Разрешение этого противоречия обычно рассматривается через призму точности и трудоёмкости. Такое сопоставление привычно, однако оно не объясняет, почему методы, близкие по точности, настолько различаются по приживаемости в эксплуатации. Причина, как представляется, лежит в иной плоскости и связана не с качеством измерения, а с тем, какой объём посторонних по отношению к измерению сведений метод вынужден привлекать для получения результата.

Целью настоящей работы являлось обоснование признака классификации методов оперативного диагностирования двигателей, отражающего их пригодность для применения в условиях эксплуатации, и анализ основных групп методов по этому признаку.

Любой диагностический метод преобразует измеренную величину в суждение о техническом состоянии. Это преобразование, помимо самого измерения, опирается на некоторый набор сведений, которые в ходе диагностирования не определяются: конструктивные параметры объекта, характеристики эталонного состояния, физические константы, результаты предварительных испытаний. Назовём совокупность таких сведений внешними по отношению к измерению.

Объём внешних сведений неодинаков для разных методов и по-разному доступен в эксплуатации. Конструктивные параметры, приводимые в технической документации, доступны всегда. Геометрия конкретной установки измеряется однократно при монтаже средств измерения. Характеристики эталонного состояния требуют предварительного обследования заведомо исправного объекта. Приведённый момент инерции вращающихся масс зависит от комплектации силового агрегата и трансмиссии, вследствие чего в эксплуатации, как правило, неизвестен вовсе.

Вторая характеристика метода − число параметров технического состояния, определяемых одним измерительным каналом. Диагностирование двигателя предполагает оценку разнородных показателей: энергетических,

характеризующих двигатель в целом, и поцилиндровых, характеризующих состояние отдельных элементов. Если каждый из них требует собственного средства измерения, суммарная трудоёмкость операции возрастает пропорционально числу контролируемых параметров.

Сочетание двух названных характеристик предлагается именовать информационной самодостаточностью метода. Метод тем самодостаточнее, чем меньше сведений он привлекает извне и чем больше параметров технического состояния извлекает из одной измеряемой величины. Именно эта комбинация, а не точность сама по себе, определяет приживаемость метода в условиях эксплуатации.

Стендовые испытания с применением тормозных устройств, порядок проведения которых регламентирован [5], дают наиболее достоверную оценку энергетических показателей [13]. Внешних сведений метод почти не требует: результат получается прямым измерением момента на валу. Однако он требует демонтажа двигателя и специализированного оборудования, а определяет единственный параметр. В эксплуатации такие испытания недоступны и применяются лишь при выходном контроле после ремонта.

Разгонные методы, основанные на измерении углового ускорения коленчатого вала, известны также по зарубежным исследованиям механических потерь инерционным способом [14] и получили широкое развитие в работах по функциональному оперативному диагностированию мобильных энергетических средств [1]. Их привлекательность обусловлена простотой реализации: частота вращения регистрируется штатными средствами. Однако переход от ускорения к моменту требует знания приведённого момента инерции вращающихся масс. Эта величина не измеряется в ходе диагностирования, зависит от комплектации агрегата и потому определяется предварительно, для чего в известных работах применяют маховик заданного момента инерции, присоединяемый через вал отбора мощности. Число определяемых параметров при этом ограничивается энергетическим потенциалом инерционной загрузки двигателя.

Методы тестового диагностирования, основанные на бестормозном нагружении двигателя за счёт отключения части цилиндров [7], расширяют круг определяемых параметров: наряду с энергетическими показателями они позволяют судить о вкладе отдельных цилиндров. Объём привлекаемых сведений при этом возрастает, поскольку требуется знание степени загрузки работающих цилиндров и соотношения индикаторной мощности с мощностью механических потерь.

Осциллографирование давления в цилиндре даёт наиболее полную картину протекания рабочего процесса и служит эталоном при сопоставлении косвенных методов [6]. Внешних сведений требуется немного, однако метод предполагает доступ в надпоршневое пространство через отверстие форсунки или свечи накаливания, то есть частичную разборку. Для периодического диагностирования в эксплуатации это неприемлемо.

Методы, основанные на анализе неравномерности вращения коленчатого вала, привлекательны тем, что не требуют дополнительных средств измерения. Вместе с тем интерпретация результата опирается на характеристики эталонного

состояния того же двигателя, полученные при заведомо исправном состоянии. Необходимость такого эталона существенно ограничивает применимость метода, поскольку в эксплуатации момент начала наблюдения обычно не совпадает с моментом ввода машины в работу.

Диагностирование по параметрам электронной системы управления не требует дополнительных средств измерения вовсе: все величины считываются через штатный диагностический разъём. Объём внешних сведений минимален. Однако состав доступных параметров задаётся производителем, оценка энергетических показателей штатными средствами не предусмотрена, а особенности формирования отдельных параметров в аккумуляторных топливных системах [4, 12] требуют отдельного толкования. Метод хорошо выявляет развитые отказы и слабо чувствителен к постепенному ухудшению состояния.

Тепловые методы, включая тепловизионный контроль, не вмешиваются в работу двигателя и не требуют его остановки. Их ограничением служит необходимость эталонного распределения температур и существенная зависимость результата от условий окружающей среды и теплового режима, вследствие чего метод пригоден преимущественно для сравнительной оценки.

Отдельную группу образуют методы, основанные на регистрации силового взаимодействия двигателя с остовом машины [10, 11]. Их положение в рассматриваемой классификации определяется особенностями формирования нагрузки на опоры.

Сила давления газов приложена к днищу поршня и может быть представлена парой равных и противоположно направленных сил, одна из которых передаётся через шатун и коленчатый вал на коренные подшипники, а вторая приложена к головке цилиндра. Обе замыкаются внутри остова двигателя [8, 9]. Следовательно, газовые силы результирующей силы на опорах не создают, а на опоры передаётся момент образуемой ими пары − реактивный, или опрокидывающий моменты, а также свободные силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс.

Из сказанного вытекают два обстоятельства, определяющие информационную самодостаточность силовых методов.

Первое. Реактивный момент связан с крутящим моментом двигателя непосредственно, а переход от измеренных реакций к моменту выполняется через поперечное расстояние между опорами. Эта величина измеряется однократно при монтаже датчиков и далее остаётся неизменной. Знание приведённого момента инерции вращающихся масс не требуется: более того, в режиме свободного разгона он сам определяется как результат измерений, поскольку при отсутствии внешней нагрузки момент на опорах равен произведению этого момента инерции на угловое ускорение коленчатого вала.

Второе. Реактивный момент изменяется в пределах рабочего цикла, отражая работу каждого цилиндра в его угловом секторе. Одна и та же измеряемая величина, рассмотренная в разных масштабах осреднения, несёт разную информацию: осреднённая за полный цикл − об энергетических показателях двигателя, рассмотренная внутри цикла − о работе отдельных цилиндров. Этим силовые методы принципиально отличаются от перечисленных выше, где расширение круга

определяемых параметров достигается привлечением дополнительных средств измерения.

Существенно и то, что в фазе выбега, когда подача топлива прекращена, момент на опорах становится отрицательным и численно равен моменту механических потерь. Совместная обработка участков разгона и выбега позволяет разделить индикаторные показатели и механические потери, не прибегая к разборке двигателя и не привлекая сведений, кроме уже названных. Механические потери, в свою очередь, интегрально отражают состояние подшипниковых узлов, цилиндропоршневой группы и вспомогательных агрегатов, а закономерности их изменения на неустановившихся режимах изучены применительно к тракторным двигателям [2] и к дизелям в нестационарных условиях [3].

Ограничения силовых методов также следует назвать. Установка измерительных элементов в опоры изменяет жёсткость подвески силового агрегата, что требует проверки отсутствия резонанса в зоне рабочих режимов. При движении машины в измерительный канал входят составляющие, обусловленные её продольной динамикой. Наконец, свободные силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс зависят от компоновки двигателя: для рядного шестицилиндрового двигателя они уравновешены конструктивно, для рядного четырёхцилиндрового − нет.

Результаты выполненного анализа сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – **Характеристика методов диагностирования по информационной самодостаточности**

№	Методы	Основные внешние сведения	Определяемые параметры
1	Стендовые испытания с тормозным устройством	Нагрузочное устройство, демонтаж двигателя	Энергетические
2	Разгонные по ускорению коленчатого вала	Приведённый момент инерции вращающихся масс	Энергетические
3	Осциллографирование давления в цилиндре	Доступ в надпоршневое пространство	Состояние ЦПГ, фазы процесса
4	По неравномерности вращения коленчатого вала	Эталонное состояние того же двигателя	Неравномерность цилиндров
5	Тепловые и тепловизионные	Эталонное распределение температур, условия среды	Качество сгорания
6	По параметрам электронной системы управления	Состав параметров, заданный производителем	Состояние систем питания и наддува
7	Силовые, по реакциям опор	Геометрия установки (измеряется однократно)	Энергетические, механические потери, неравномерность работы цилиндров, состояние ЦПГ и топливной аппаратуры

Графическая интерпретация таблицы приведена на рисунке 1. Номера точек соответствуют номерам методов в таблице 1.

Распределение методов на поле рисунка обнаруживает закономерность. Методы, дающие один параметр технического состояния, сосредоточены в

правой нижней части, где объём привлекаемых извне сведений велик. По мере продвижения влево и вверх растёт число определяемых параметров при одновременном сокращении внешних сведений. Силовые методы занимают крайнее положение в этом направлении.

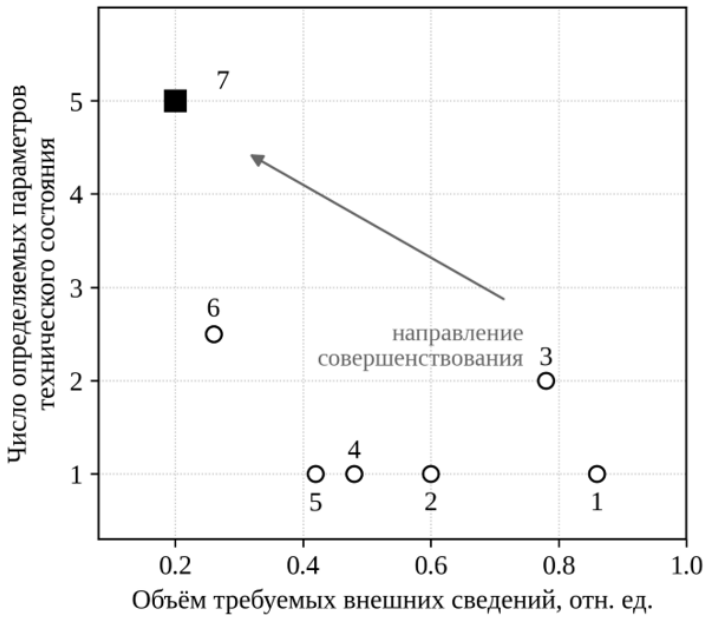


Рисунок 1 – **Положение методов диагностирования в координатах информационной самодостаточности**

Указанное положение не следует истолковывать как превосходство во всех отношениях. Точность определения энергетических показателей у стендовых испытаний остаётся недостижимой для любого косвенного метода, а полнота описания рабочего процесса − у осциллографирования давления в цилиндре. Речь идёт о пригодности метода для периодического диагностирования в условиях эксплуатации, где ресурсы ограничены, а получить необходимо разнородные сведения о состоянии объекта.

Практическое следствие состоит в том, что направление совершенствования средств оперативного диагностирования целесообразно связывать не с повышением точности отдельного измерения, а с сокращением объёма привлекаемых извне сведений и с расширением круга параметров, извлекаемых из одной измеряемой величины.

Заключение

1. Предложен признак классификации методов оперативного диагностирования двигателей − информационная самодостаточность, определяемая объёмом сведений, привлекаемых извне, и числом параметров технического состояния, определяемых одним измерительным каналом. В отличие от сопоставления по точности и трудоёмкости, предложенный признак отражает пригодность метода для применения в условиях эксплуатации.

2. Выполнен анализ основных групп методов. Установлено, что методы, определяющие единственный параметр технического состояния, требуют наибольшего объёма внешних сведений: демонтажа двигателя, нагрузочных устройств, предварительного определения момента инерции вращающихся масс либо обследования заведомо исправного объекта.

3. Показано, что силовые методы, основанные на регистрации реакций опор, обладают наибольшей информационной самодостаточностью. Из внешних сведений они требуют лишь геометрии установки, измеряемой однократно, а одна и та же измеряемая величина, рассмотренная в разных масштабах осреднения, несёт сведения как об энергетических показателях двигателя, так и о работе отдельных цилиндров.

4. Названы ограничения силовых методов: влияние измерительных элементов на жёсткость подвески силового агрегата, наличие составляющих от продольной динамики машины при движении и зависимость уровня свободных сил инерции от компоновки двигателя. Их учёт составляет предмет дальнейших исследований.

5. Совершенствование средств оперативного диагностирования целесообразно направлять на сокращение объёма привлекаемых извне сведений и расширение круга параметров, извлекаемых из одной измеряемой величины.

Список литературы

1. *Арженовский, А.Г.* Совершенствование организации технического сервиса, методов и средств функционального оперативного диагностирования мобильных энергетических средств в АПК: дис. … д-ра техн. наук : 05.20.03 / *А.Г. Арженовский*. – Зерноград, 2020. – 335 с.

2. *Болтинский, В.Н.* Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке / *В.Н. Болтинский.* – М. : Сельхозгиз, 1949. – 216 с.

3. *Брук, М.А.* Работа дизеля в нестационарных условиях / *М.А. Брук, А.С. Виксман, Г.Х. Левин*. – Л. : Машиностроение, 1981. – 208 с.

4. *Габитов, И.И*. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей / *И.И. Габитов, Л.В. Грехов, А.В. Неговора*. – М. : Легион-Автодата, 2008. – 248 с.

5. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М. : Изд-во стандартов, 1988.

6. *Гриценко, А.В.* Методика обработки осциллограмм при диагностировании цилиндропоршневой группы и анализ полученных данных / *А.В. Гриценко, Р.В. Банин, А.В. Караулов, С.А. Барышников* // АПК России. – 2024. – Т. 31, № 5. – С. 681-693.

7. *Гриценко, А.В.* Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания: дис. … д-ра техн. наук : 05.20.03 / *А.В. Гриценко*. – Челябинск, 2014. – 397 с.

8. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 2. Динамика и конструирование : учебник для вузов / *В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров* [и др.] ; под ред. В.Н. Луканина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2005. – 400 с.

9. *Колчин, А.И.* Расчёт автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие для вузов / А.*И. Колчин, В.П. Демидов*. – 4-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2008. – 496 с.

10. *Курносов, А.Ф.* Совершенствование методики диагностирования дизельного двигателя с топливной системой Common Rail в режиме свободного разгона / *А.Ф. Курносов* // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 19, № 2(74). – С. 67-74.

11. *Курносов, А.Ф.* Определение эффективной мощности по величине реакций опор двигателя при работе в режиме свободного разгона / *А.Ф. Курносов, Ю.А. Гуськов* // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2(70). – С. 111-118. – DOI 10.31563/1684-7628-2024-70-2-111-118.

12. Анализ неисправностей электрогидравлических форсунок типа Common Rail / *И.И. Габитов, Р.А. Вахитов, А.Р. Валиев* [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 11. – С. 41-43.

13. *Heywood, J.B.* Internal Combustion Engine Fundamentals / *J.B. Heywood.* – 2nd ed. – McGraw-Hill Education, 2018. – 1024 p.

14. Taraza, D. Measurement of Engine Friction Power by Using Inertia Tests / D. Taraza, N.A. Henein, W. Bryzik // SAE Technical Paper. – 1995. – № 950028. – DOI: 10.4271/950028.

Сведения об авторе

Курносов Антон Фёдорович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка Инженерного института. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий» (630039, Россия, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: 8-383-267-37-04, e-mail: anton_kurnosov@mail.ru).

Information about the author

Kurnosov Anton F. – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Operation of machine and tractor fleet», engineering institute. Federal state budgetary educational institution of higher education «Siberian state university engineering and biotechnology» (160 Dobrolyubova str., Novosibirsk, Russia, 630039, tel.: 8-383-267-37-04, e-mail: anton_kurnosov@mail.ru).

УДК 629.113

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Г.А. Кочнев, А.Е. Турушев

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет
Иркутск, Россия

Аннотация. В работе представлен обзор современных методов и средств безразборной диагностики двигателей внутреннего сгорания. Проанализированы как традиционные стендовые методы, так и перспективные вибрационные и виброакустические подходы, основанные на анализе сигналов акселерометров и датчиков давления. Рассмотрены ключевые научные направления, связанные с оценкой технического состояния двигателя по параметрам бокового ускорения блока цилиндров, а также зарубежный опыт в области диагностики процессов сгорания и впрыска топлива. Выявлены основные тенденции развития методов неразрушающего контроля, включая синхронизацию измерений с углом поворота коленчатого вала и применение методов цифровой обработки сигналов. Обоснована актуальность разработки методики определения мощностных показателей двигателя в режиме свободного разгона, что позволит повысить оперативность и снизить затраты на диагностику автотранспортных средств в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: диагностика ДВС, боковое ускорение, вибрационный метод, акселерометр, свободный разгон, неразрушающий контроль, техническое состояние.

MODERN APPROACHES TO NON-DESTRUCTIVE DIAGNOSTICS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

G.A. Kochnev, A.E. Turushev

Irkutsk national research technical university
Irkutsk, Russia

Annotation. The paper presents a review of modern methods and tools for non-destructive diagnostics of internal combustion engines. Both traditional bench methods and promising vibration and vibroacoustic approaches based on the analysis of accelerometer and pressure sensor signals are analyzed. Key scientific directions related to the assessment of the engine technical condition by the parameters of lateral acceleration of the cylinder block, as well as foreign experience in the field of diagnostics of combustion and fuel injection processes, are considered. The main trends in the development of non-destructive testing methods are identified, including synchronization of measurements with the crankshaft rotation angle and the use of digital signal processing methods. The relevance of developing a method for determining engine power indicators in free acceleration mode is substantiated, which will improve efficiency and reduce the cost of diagnosing vehicles under operating conditions.

Key words: internal combustion engine diagnostics, lateral acceleration, vibration method, accelerometer, free acceleration, non-destructive testing, technical condition.

Современная эксплуатация автотранспортных средств предъявляет повышенные требования к оперативности и достоверности диагностирования силовых агрегатов. Определение мощностных показателей двигателя – эффективной мощности и крутящего момента – является одной из ключевых задач технической диагностики, поскольку эти параметры напрямую характеризуют техническое состояние цилиндро-поршневой группы, системы топливоподачи и газораспределительного механизма [6].

Традиционные методы оценки мощностных показателей базируются на стендовых испытаниях с использованием нагрузочных устройств (динамометрических стендов, вихревых тормозов и т.п.) [5]. Несмотря на высокую точность, такие методы обладают существенными недостатками: необходимость демонтажа двигателя, значительные временные и материальные затраты, невозможность применения в полевых условиях. Это обуславливает актуальность поиска альтернативных подходов, основанных на анализе косвенных диагностических параметров, регистрируемых без разборки двигателя.

Целью настоящей работы является обзор современных научных направлений в области безразборной диагностики двигателей внутреннего сгорания и обоснование перспективности вибрационного метода, основанного на анализе бокового ускорения блока цилиндров в режиме свободного разгона.

Традиционные и косвенные методы оценки мощностных показателей. Классический подход к определению мощности и крутящего момента двигателя основан на стендовых испытаниях по ГОСТ 14846-2020 [5]. Методика предусматривает работу двигателя на установившихся режимах с пошаговым изменением нагрузки и частоты вращения коленчатого вала, что позволяет получить внешнюю скоростную характеристику. Однако реализация данного подхода требует наличия специального оборудования и высококвалифицированного персонала.

Косвенные методы оценки мощности, получившие распространение в практике эксплуатации, основаны на анализе параметров рабочего процесса: давления в цилиндре, температуры отработавших газов, параметров вибрации и шума [1]. Например, методы, базирующиеся на измерении индикаторного давления, позволяют достаточно точно судить о протекании рабочего цикла, но

требуют установки датчиков непосредственно в камеру сгорания, что не всегда возможно без существенного вмешательства в конструкцию двигателя [3].

Вибрационные и виброакустические методы диагностики. В последние десятилетия активное развитие получили вибрационные методы диагностики, основанные на анализе сигналов, регистрируемых акселерометрами на поверхности двигателя [1]. Эти методы обладают рядом преимуществ: неинвазивность, возможность работы в режиме реального времени, относительно невысокая стоимость измерительной аппаратуры.

Значительный вклад в теоретическое обоснование вибрационных методов внесли работы отечественных исследователей. В частности, в трудах А.А. Гаврилова, М.С. Игнатова и В.В. Эфроса рассмотрены вопросы математического моделирования нестационарных процессов в цилиндрах ДВС и анализа нагрузок, действующих в кривошипно-шатунном механизме [4]. Методики построения индикаторных диаграмм с использованием математических методов представлены в работах Ю.П. Макушева, Т.А. Поляковой и Л.Ю. Михайловой [3].

Особое место занимают исследования, направленные на диагностирование двигателя по параметрам бокового ускорения блока цилиндров, вызванного реактивным моментом. Пионерскими в этой области являются работы С.Н. Кривцова и И.Д. Деньгина, в которых научно обоснован и практически реализован метод диагностирования, основанный на анализе боковых ускорений [2, 7]. Авторами рассмотрены процессы формирования боковых ускорений, выявлены закономерности изменения диагностических параметров в зависимости от технического состояния цилиндро-поршневой группы и элементов системы питания, предложены алгоритмы обработки диагностической информации. Кроме того, проанализировано влияние характеристик подвески силового агрегата на показания бокового ускорения и обоснованы требования к размещению измерительного оборудования [7].

В работе С.С. Андреева, Ю.В. Мягкова и В.В. Курицина предложена математическая модель вибраций двигателя внутреннего сгорания, позволяющая описывать сложные колебательные процессы, сопровождающие работу ДВС [1]. Практическая реализация вибрационного подхода к задачам диагностики получила развитие в исследованиях итальянских учёных под руководством Л. Барелли [8]. Ими установлено, что вибрационные и акустические сигналы, измеренные на головке цилиндров, строго связаны с процессами внутри цилиндра и зависят от нагрузки на двигатель и частоты сгорания. На основе этих данных были введены вибрационные и акустические индексы для оценки режима работы двигателя, что открывает путь к созданию бортовых систем мониторинга без установки дорогостоящих датчиков давления [8].

Зарубежный опыт диагностики процессов впрыска и сгорания. Значительный вклад в развитие методов вибрационной диагностики внесли зарубежные исследователи. Тунисские учёные Эззедин Фтуту и Мнауар Шушан сосредоточились на задаче обнаружения дефектов системы впрыска топлива в дизельных двигателях [9]. Объектом их исследования являлся четырёхтактный рядный шестицилиндровый дизель. Для моделирования неисправностей давление впрыска в одном из цилиндров постепенно снижалось от номинального значения. Сбор

данных осуществлялся с помощью индуктивного датчика верхней мёртвой точки и пьезоэлектрического акселерометра, установленного на головке блока цилиндров. Анализ сигналов проводился в трёх областях: во временной (по углу поворота коленчатого вала), в частотной (с использованием быстрого преобразования Фурье) и в угло-частотной (с использованием кратковременного преобразования Фурье). Результаты показали, что анализ в угло-частотной области позволяет не только обнаружить неисправность впрыска, но и идентифицировать неисправный цилиндр. В более поздней работе те же авторы применили методы неконтролируемой нечёткой кластеризации для классификации типов неисправностей впрыска, что значительно повысило точность диагностики по сравнению с традиционными пороговыми методами [9].

В работе венгерских исследователей Пала Банлаки и Золтана Магоши основное внимание уделяется преодолению ограничений стандартного временного анализа шумовых и вибрационных характеристик двигателя [10]. Ключевым методическим решением является отказ от привязки сигнала к временным интервалам в пользу синхронизации измерений с углом поворота коленчатого вала. Это позволяет отслеживать детальные флуктуации угловой скорости, вызванные активностью отдельных поршней. Разработанная авторами система использует функцию порядкового анализа совместно с анализом результатов в частотной области. Синхронизация с рабочим циклом двигателя осуществляется через сигнал импульса верхней мёртвой точки или сигнал положения распределительного вала. Анализ данных ведётся с использованием циклических спектрограмм, позволяющих точно привязать шумовые события к угловым положениям в рабочем цикле двигателя (720 градусов поворота коленчатого вала). Такой подход эффективно подавляет помехи от соседних механизмов, позволяет разделять дефекты по отдельным цилиндрам и клапанам и повышает достоверность диагностики подшипников, клапанов и кривошипно-шатунного механизма [10].

Экспериментальная база и измерительный комплекс. Для проведения исследований по оценке бокового ускорения блока цилиндров в режиме свободного разгона был разработан измерительный комплекс, структурная схема которого приведена на рисунке 1.

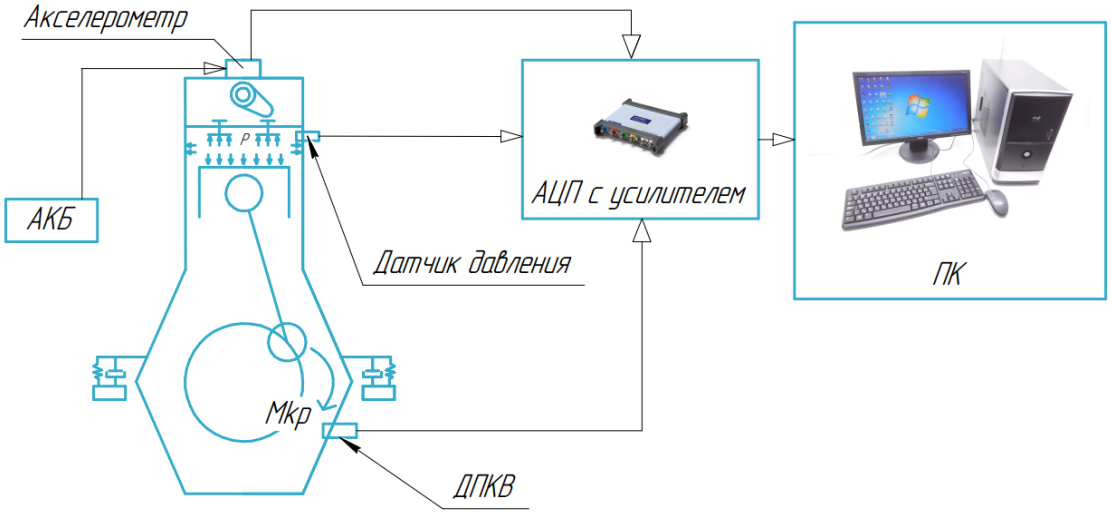


Рисунок 1 – **Структурная схема измерительного комплекса**

Комплекс включает в себя трёхосный акселерометр, устанавливаемый на клапанной крышке двигателя, датчик давления МИДА-ПИ-55, устанавливаемый в отверстие свечи накаливания, аналого-цифровой преобразователь *Autoscope*-IV с усилителем и персональный компьютер. Синхронизация измерений осуществляется по сигналу датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) или распределительного вала (ДПРВ) [7].

Важным этапом подготовки экспериментального оборудования является тарировка датчиков. На рисунке 2 представлен график тарировки измерительной системы на основе датчика давления МИДА-ПИ-55.

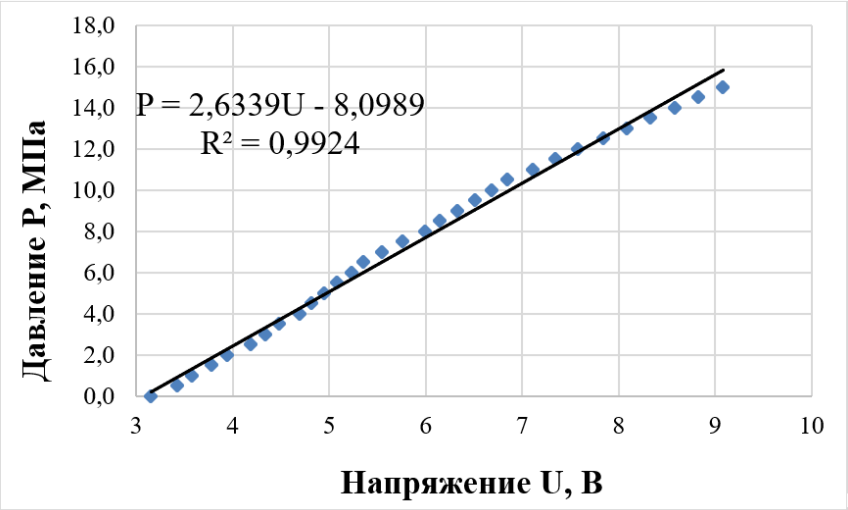


Рисунок 2 – **График тарировки измерительной системы на основе датчика МИДА-ПИ 55**

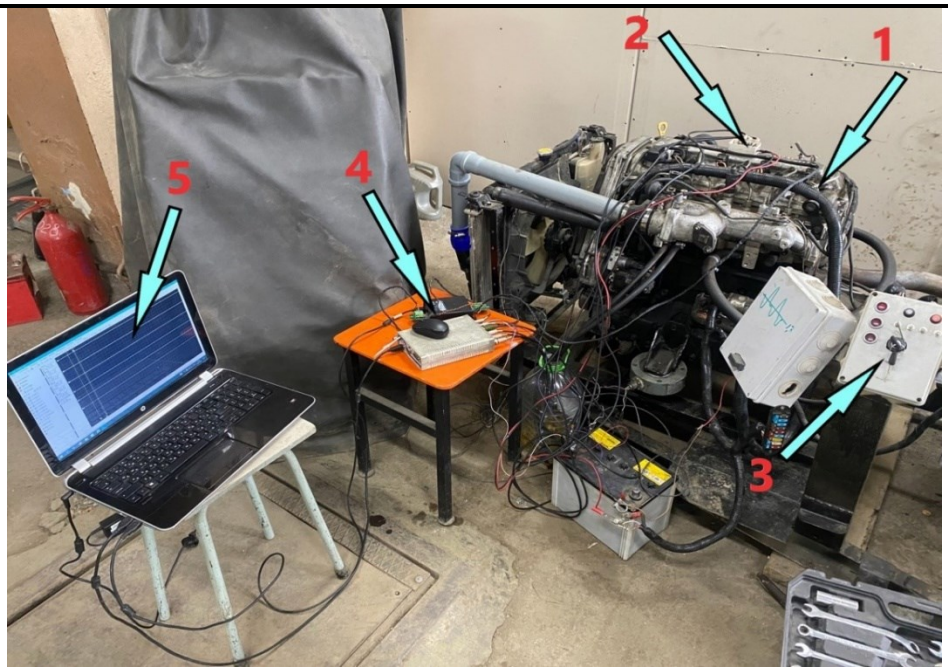
Как видно из графика, зависимость давления от напряжения имеет линейный характер с высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0{,}992$), что подтверждает корректность работы измерительного тракта.

Испытания проводятся на стенде в лаборатории кафедры автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин ИрНИТУ с установленным двигателем *D*4*CB*. Внешний вид стенда для получения внешней скоростной характеристики двигателя приведён на рисунке 3 [5].

Стенд позволяет нагружать двигатель с помощью вихревого тормоза и регистрировать крутящий момент с помощью силоизмерительного датчика, что обеспечивает возможность получения эталонных мощностных характеристик для последующего сопоставления с данными вибрационной диагностики [5].

Расчётная схема формирования бокового ускорения. Для теоретического обоснования метода была разработана структурная схема функционирования объекта исследования, представленная на рисунке 4.

Схема учитывает управляющие параметры (цикловая подача, частота вращения), параметры внешних воздействий (температура, атмосферное давление, состояние опор двигателя), внутренние параметры объекта (техническое состояние ЦПГ, диаметр цилиндра, ход поршня, степень сжатия) и выходной функциональный параметр – боковое ускорение блока цилиндров [2, 7].



1 – Двигатель D4CB; 2 – МКПП; 3 – Вихревой тормоз; 4 – Силоизмерительный датчик.

Рисунок 3 – **Стенд для получения ВСХ двигателя *D4CB***

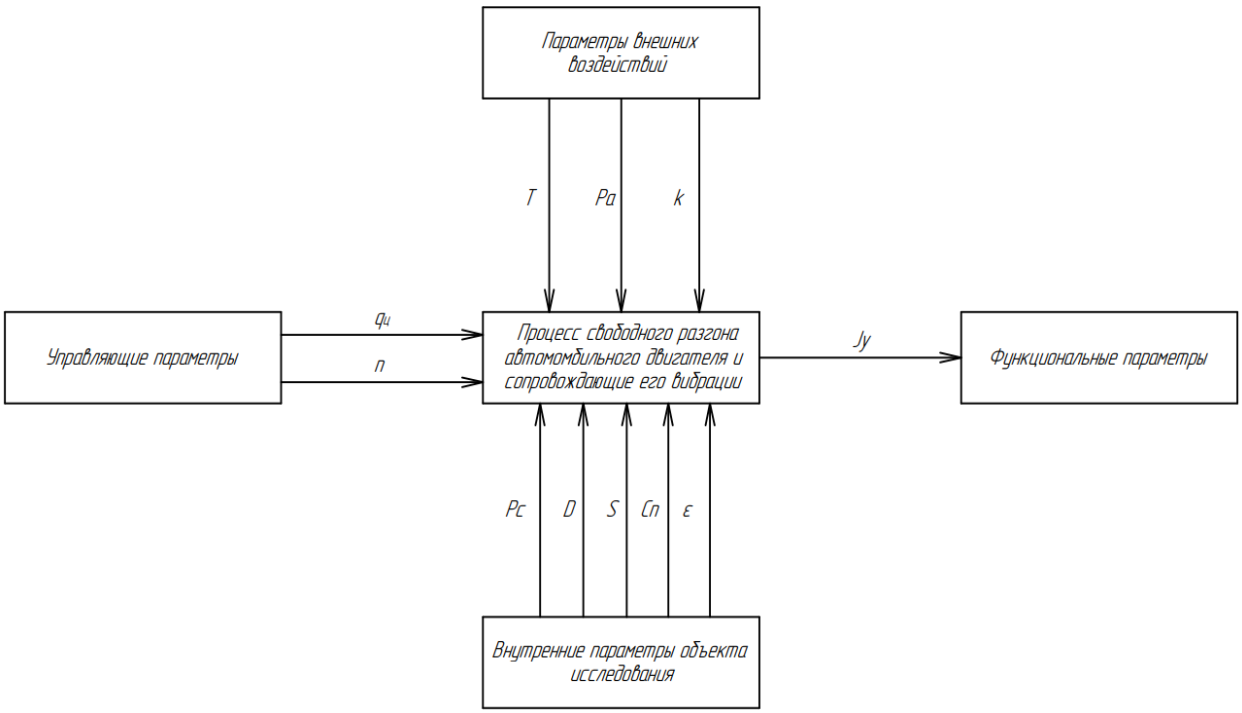


Рисунок 4 – **Структурная схема функционирования объекта исследования**

Тенденции и перспективы развития. Анализ рассмотренных источников позволяет выделить несколько ключевых тенденций в развитии методов безразборной диагностики двигателей внутреннего сгорания.

Во-первых, наблюдается устойчивый переход от стационарных режимов диагностирования (холостой ход, установившиеся нагрузки) к переходным режимам, таким как свободный разгон. Это связано с тем, что переходные режимы несут значительно больше информации о динамических свойствах двигателя и позволяют оценивать мощностные показатели в реальном времени [2, 7].

Во-вторых, всё большее распространение получают методы цифровой обработки сигналов, включая вейвлет-преобразования, кратковременное преобразование Фурье, методы нечёткой кластеризации. Это позволяет извлекать диагностическую информацию из зашумлённых сигналов и повышать достоверность диагностики [9, 10].

В-третьих, прослеживается тенденция к синхронизации измерений с углом поворота коленчатого вала, что обеспечивает привязку диагностических событий к конкретным тактам рабочего цикла и позволяет идентифицировать неисправности по отдельным цилиндрам [10].

Наконец, наблюдается стремление к созданию портативных диагностических комплексов на базе акселерометров и аналого-цифровых преобразователей, которые могут быть использованы в полевых условиях и на выездных диагностических постах [8].

Проведённый обзор показывает, что существующие методы безразборной диагностики двигателей внутреннего сгорания имеют ряд ограничений, связанных с необходимостью использования сложного оборудования, недостаточной точностью или невозможностью применения в условиях эксплуатации. Перспективным направлением является развитие вибрационных методов, основанных на анализе бокового ускорения блока цилиндров в режиме свободного разгона. Данный подход позволяет оперативно и с минимальными трудозатратами оценивать мощностные показатели двигателя без необходимости демонтажа и использования дорогостоящих нагрузочных стендов. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на разработку математических моделей, связывающих параметры бокового ускорения с мощностными показателями, создание экспериментальных установок и проведение широкомасштабных испытаний на двигателях различных типов.

Список литературы

1. *Андреев, С.С.* Математическая модель вибраций двигателя внутреннего сгорания / *С.С. Андреев, Ю.В. Мягков, В.В. Курицин* // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 11. – Ч. 2. – С. 195-202.

2. *Кривцов, С.Н.* Использование показаний бокового ускорения блока как диагностических данных / *С.Н. Кривцов, И.Д. Деньгин* // Секция 1 – Технический сервис машин и оборудования: материалы конф. – Иркутск : ИРНИТУ, [б. г.]. – С. 26-33.

3. *Макушев, Ю.П.* Расчет и анализ индикаторной диаграммы двигателя с использованием математических методов / *Ю.П. Макушев, Т.А. Полякова, Л.Ю. Михайлова* // Омский научный вестник. – 2010. – № 4.

4. *Гаврилов, А.А.* Расчет циклов поршневых двигателей: учеб. пособие / А.*А. Гаврилов, М.С. Игнатов, В.В. Эфрос*. – Владимир : Владим. гос. ун-т, 2003. – 124 с.

5. ГОСТ 14846-2020. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – Стандартинформ, 2020.

6. *Архангельский, В.М.* Автомобильные двигатели / *В.М. Архангельский*. – М. : Машиностроение, 1977. – 591 с.

7. *Деньгин, И.Д.* Математическая модель процесса формирования бокового ускорения блока цилиндров, вызванного реактивным моментом / *И.Д. Деньгин, С.Н. Кривцов* // Грузовик. – 2024. – № 9. – С. 3-9.

8. *Barelli, L.* Diagnosis of internal combustion engine through vibration and acoustic pressure non-intrusive measurements / *L. Barelli, G. Bidini, C. Buratti, R. Mariani* // Applied Thermal Engineering. – 2009. – Vol. 29, No. 8-9. – P. 1707-1713.

9. *Ftoutou, E.* Diesel engine injection faults' detection and classification utilizing unsupervised fuzzy clustering techniques / *E. Ftoutou, M. Chouchane* // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. – 2019. – Vol. 233, No. 16. – P. 5622-5636.

10. *Banlaki, P.* Development of a measurement system for vehicle engine diagnostic / *P. Banlaki, Z. Magosi* // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. – 2010. – Vol. 38, No. 2. – P. 85-89.

Сведения об авторах

Кочнев Георгий Алексеевич – студент группы ТЭАм-25-1, Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89041338437, e-mail: egor.kochnev.2000@mail.ru).

Турушев Алексей Евгеньевич – студент группы ТЭАм-25-1, Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 89996844269, e-mail: new6new@mail.ru).

Information about the authors

Kochnev Georgy A. – student of group TEAm-25-1, Irkutsk national research technical university (664074, Russia, Irkutsk, Lermontov st., 83, tel.: 89041338437, e-mail: egor.kochnev.2000@mail.ru).

Turushev Alexey E. – student of group TEAm-25-1, Irkutsk national research technical university (664074, Russia, Irkutsk, Lermontov st., 83, tel.: 89996844269, e-mail: new6new@mail.ru).

УДК 631.3:62-784.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ ТЕРМОЧЕХЛОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

И.А. Лончаков, М.В. Чубарева

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального исследования четырёх образцов термочехлов с различной комбинацией слоёв. Испытания проводились в морозильной камере при температуре около -22,3° С. Внутри каждого образца устанавливались датчики температуры. Измерения проводились через равные интервалы времени. Установлено, что образец, содержащий два слоя шерстипона и отражающий слой из стеклоткани с алюминиевой фольгой, обладает наилучшими теплоизоляционными свойствами. Наименьшую эффективность показал образец без объёмного утеплителя. Полученные данные могут быть использованы при разработке термочехлов для тракторов сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: термочехол, теплоизоляция, эксперимент, морозильная камера, температура, слои, шерстипон, фольга, пароизоляция.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMAL INSULATION PROPERTIES OF MULTI-LAYER THERMO COVERS FOR AGRICULTURAL MACHINERY

I.A. Lonchakov, M.V. Chubareva

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The paper presents the results of an experimental study of four samples of thermal covers with different combinations of layers. The tests were conducted in a freezer at a temperature of approximately -22.3° C. Temperature sensors were installed inside each sample. Measurements were taken at regular intervals. It was found that the sample containing two layers of woolen padding and a reflective layer made of fiberglass fabric with aluminum foil has the best thermal insulation properties. The sample without bulk insulation showed the lowest efficiency. The data obtained can be used in the development of thermal covers for agricultural tractors.

Key words: thermal cover, thermal insulation, experiment, freezer, temperature, layers, wool padding, foil, vapor barrier.

Большая часть территории России находится в зоне резко континентального климата. Зимние температуры могут опускаться ниже -30° С, а период отрицательных температур превышает три месяца в году. При хранении сельскохозяйственной техники под открытым небом возникают серьёзные проблемы: жидкости в системах замерзают, масло в двигателе густеет, что приводит к масляному голоданию при запуске и ускоренному износу деталей [1, 4, 5]. В гидравлической системе из-за повышения вязкости масла возрастает давление, что вызывает разрыв шлангов и гидроцилиндров. Для крестьянско-фермерских и личных подсобных хозяйств, не имеющих отапливаемых гаражей, это оборачивается незапланированными финансовыми затратами и дорогостоящим ремонтом.

Одним из решений является использование пассивных термочехлов, не требующих подключения к электросети. Такие чехлы работают как «Термос», сохраняя тепло, выделяемое техникой при остывании. Однако эффективность термочехла напрямую зависит от правильного подбора материалов и их последовательности [4, 5, 10]. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование теплоизоляционных свойств различных комбинаций материалов для термочехла и выявление наиболее эффективной структуры.

В эксперименте исследовались четыре образца термочехлов, различающихся составом слоёв. Состав образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – **Состав исследуемых образцов**

№ образца	Состав слоёв (от внутреннего к наружному)
1	Фольгированная подкладка; стеклоткань с алюминиевой фольгой; синтепон; курточная ткань (водоотталкивающая)
2	Стеклоткань с алюминиевой фольгой; курточная ткань (водоотталкивающая)
3	Фольгированная подкладка; стеклоткань с алюминиевой фольгой; шерстипон (2 слоя); курточная ткань (водоотталкивающая)
4	Курточная ткань; вата; курточная ткань

На рисунке 1 представлены фотографии исследуемых образцов, демонстрирующие их слоистую структуру [8, 9].

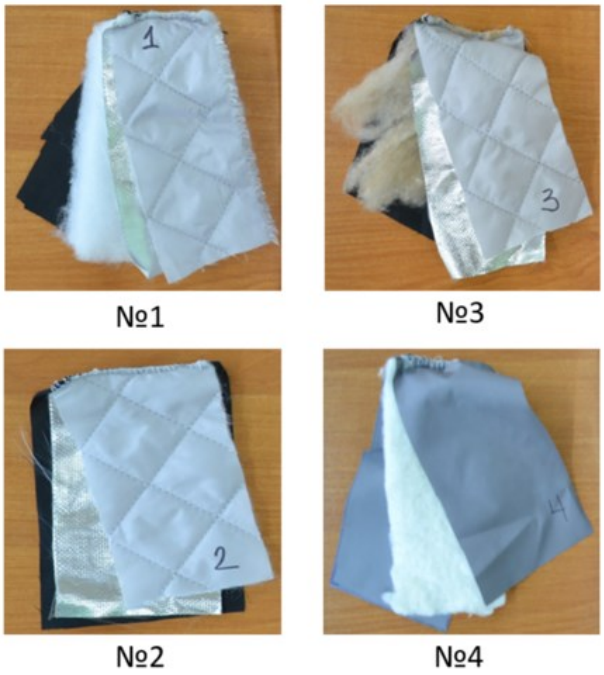


Рисунок 1 – **Структура слоёв исследуемых образцов термочехлов**

Описание материалов слоёв

1. Фольгированная подкладка – тонкая полиэфирная ткань с алюминиевым напылением. Отражает инфракрасное излучение обратно к технике, обеспечивает мягкое прилегание и защищает лакокрасочное покрытие от истирания. Обладает низкой паропроницаемостью, поэтому обычно используется как внутренний отражающий слой.

2. Стеклоткань с алюминиевой фольгой – армирующая стеклоткань, на которую нанесён слой алюминиевой фольги. Выполняет две функции: отражает тепловое излучение внутрь и работает как пароизоляция, не пропуская влагу и конденсат в утеплитель. Толщина обычно 0,1-0,3 мм, термостойкость до 200° С.

3. Шерстипон – смесь натуральной шерсти (50-80 %) и полиэфирных волокон. Плотность варьируется от 150 до 600 г/м^2. Коэффициент теплопроводности $\lambda \approx 0{,}03 - 0{,}035$ Вт/(м·К). Благодаря природной извитости шерсти материал хорошо удерживает воздух и держит форму.

4. Синтепон – 100 % полиэфирные волокна. Плотность 100-300 г/м^2, $\lambda \approx 0{,}035 - 0{,}04$ Вт/(м·К). Дешевле шерстипона, но быстрее сбивается в комки, теряет объём и хуже переносит намокание.

5. Вата – натуральное хлопковое волокно. $\lambda \approx 0{,}04 - 0{,}05$ Вт/(м·К). Хорошо впитывает влагу, при намокании теряет теплоизоляционные свойства, тяжёлая, со временем слёживается.

6. Курточная ткань (водоотталкивающая) – полиэфирная ткань с водоотталкивающей пропиткой. Защищает чехол от снега, дождя, ветра и механических повреждений [2, 3, 10].

Образцы помещались в морозильную камеру с температурой около -22,3° С. Внутри каждого образца устанавливались датчики температуры. Измерения

проводились через равные интервалы времени (преимущественно через 5 минут). Начальная температура образцов соответствовала комнатной и составляла: № 1 – 23,2° С; № 2 – 23,8° С; № 3 – 26,2° С; № 4 – 26,5° С. Разброс начальных температур объясняется тем, что образцы вынимались из разных условий хранения и не термостатировались предварительно.

Для корректного сравнения образцов с разными начальными температурами была использована нормированная температура $T_н$:

$$T_H = \frac{T - T_{\text{камеры}}}{T_0 - T_{\text{камеры}}},$$

где T – текущая температура образца;
$T_{\text{камеры}}$ – температура морозильной камеры (-22,3° С);
T_0 – начальная температура образца.

Нормированная температура показывает долю «Избыточного» тепла, сохранившегося в образце к данному моменту. Чем выше значение $T_н$, тем лучше теплоизоляционные свойства [7].

На рисунке 2 представлена динамика изменения температуры образцов во времени. Анализ кривых показывает, что образец № 2 остывает наиболее быстро: переход через 0° С происходит уже на 30-35-й минуте, а конечная температура достигает -22,3° С, то есть температуры камеры. Образцы № 1, № 3 и № 4 остывают медленнее: переход через 0° С наблюдается на 55-60-й минуте. Конечные температуры составили: № 1 – -20,0° С; № 3 – -20,4° С; № 4 – -19,9° С.

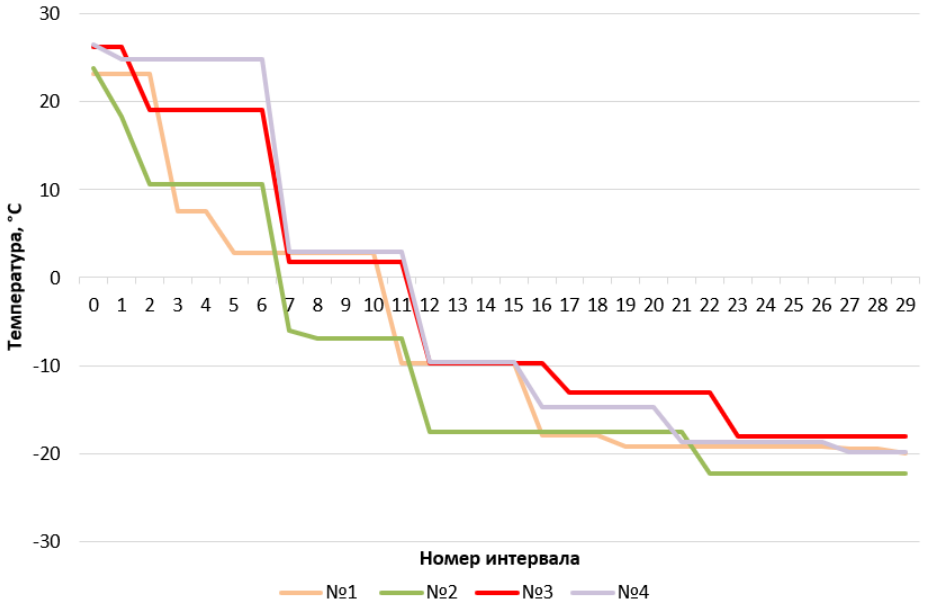


Рисунок 2 – **Динамика изменения температуры образцов термочехлов в морозильной камере**

Для более детального анализа была рассчитана нормированная температура $T_н$ через 2,5 часа после начала эксперимента (таблица 2).

Таблица 2 – **Нормированная температура образцов через 2,5 часа**

Образец	**Нормированная температура, $T_н$**
1	0,051
2	0,000
3	0,089
4	0,049

Как видно из таблицы, наибольшее значение $T_н$ соответствует образцу № 3. Это объясняется наличием двух слоёв шерстипона, обеспечивающих основную теплоизоляцию, и отражающего слоя из стеклоткани с алюминиевой фольгой, который снижает потери тепла излучением и выполняет функцию пароизоляции. Образец № 2, не содержащий объёмного утеплителя, показал наихудший результат. Образцы № 1 и № 4 близки по показателям, но уступают образцу № 3.

Следует отметить, что образец № 1 содержит синтепон, который уступает шерстипону по теплоизоляционным свойствам. Образец № 4 содержит вату, которая при намокании теряет свои свойства и может накапливать влагу. Образец № 3 сочетает в себе лучшие качества: два слоя шерстипона обеспечивают высокое термическое сопротивление, а фольгированные слои отражают тепловое излучение обратно внутрь [2, 3, 10].

Дополнительно была проанализирована скорость охлаждения образцов. В первые 30 минут скорость охлаждения образца № 2 составила в среднем 1,5 °С/мин, тогда как у образца № 3 – 0,8° С/мин. Это подтверждает, что многослойная структура с шерстипоном существенно замедляет процесс теплопотери.

Экспериментально подтверждено, что многослойная структура термочехла существенно замедляет процесс остывания по сравнению с однослойными или простыми комбинациями.

Наилучшие теплоизоляционные свойства продемонстрировал образец № 3, содержащий два слоя шерстипона, стеклоткань с алюминиевой фольгой и фольгированную подкладку.

Наименьшую эффективность показал образец № 2, не содержащий объёмного утеплителя.

Полученные результаты будут использованы при разработке термочехлов для тракторов сельскохозяйственного назначения [1, 4, 5].

Список литературы

1. *Андрейчик, А.Е.* Термочехлы – эффективная защита оборудования / *А.Е. Андрейчик, С.И. Синица* // Энергия молодёжи для нефтегазовой индустрии : сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых учёных. – Альметьевск : Альметьевский государственный нефтяной институт, 2017. – С. 28-31.

2. Патент № 2246188 C2 Российская Федерация, МПК H05K 7/20. Защитный термочехол : заявка № 2001135415/09 : заявл. 28.12.2001 : опубл. 10.02.2005, Бюл. № 4 / *Безукладов В.И., Кийко Н.В., Костенко В.И., Ямбуренко Н.С.* ; патентообладатель *Костенко В.И.*

3. Патент № 130084 U1 Российская Федерация, МПК F16L 59/00, F16K 49/00. Взрывозащищённый защитный термочехол : заявка № 2013120111/06 : заявл. 30.04.2013 : опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.

4. *Лончаков, И.А.* Анализ факторов безопасности при совместной эксплуатации автомобильных термочехлов и тепловых пушек различных типов / *И.А. Лончаков, М.В. Чубарева* // Безопасность в техносфере : материалы международной научно-практической конференции. – Иркутск : Иркутский ГАУ, 2026. – С. 112-118.

5. *Лончаков, И.А.* Исследование эффективности термочехла для защиты автомобильной техники / *И.А. Лончаков, М.В. Чубарева* // Научные исследования молодых учёных : сборник материалов конференции. – Иркутск : Иркутский ГАУ, 2026. – С. 45-50.

6. Патент № 33694 U1 Российская Федерация, МПК A47J 39/00. Термочехол : заявка № 2003116460/20 : заявл. 03.06.2003 : опубл. 10.11.2003 / *Мосцепан А.Б.* ; патентообладатель *Мосцепан А.Б.*

7. Теплотехника : учебник для вузов / под ред. В.Н. Луканина. – 6-е изд., испр. – Москва : Высшая школа, 2009. – 671 с.

8. Патент № 70609 U1 Российская Федерация, МПК H05K 7/20. Термочехол : заявка № 2007119141/22 : заявл. 22.05.2007 : опубл. 27.01.2008 / *Харламов С.Ф., Кудрявцев Ю.С.*

9. Патент № 94519 U1 Российская Федерация, МПК B60H 1/00. Термочехол : заявка № 2009146683/22 : заявл. 15.12.2009 : опубл. 27.05.2010 / *Шамсутдинов И.Н., Мингариев Ф.К.* ; патентообладатели *Шамсутдинов И.Н., Мингариев Ф.К.*

10. *Шарипова, Л.Р.* Сравнительный анализ наполнителей термочехлов / *Л.Р. Шарипова, А.Р. Талипова* // Энергия молодёжи для нефтегазовой индустрии : сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых учёных. – Альметьевск : Альметьевский государственный нефтяной институт, 2017. – С. 51-53.

Сведения об авторах

Лончаков Иван Анатольевич – магистрант 2 курса направления 35.04.06 «Агроинженерия» инженерного факультета ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского» (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: ilonchakov@yandex.ru).

Чубарева Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭМТП, БЖД и ПО (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел. +79086567154, email: chubarevamarina@rambler.ru).

Information about the authors

Lonchakov Ivan A. – second-year master's student in the field of 35.04.06 "Agroengineering" of the faculty of engineering of Irkutsk state agrarian university named after A.A. Yezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, e-mail: ilonchakov@yandex.ru).

Chubareva Marina V. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of EMTP, belarusian railways and PO (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, village Youth, tel. +79086567154, email: chubarevamarina@rambler.ru).

УДК 631.3.004:303.7

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Е.И. Любимова, Ц.В. Цэдашиев, П.И. Ильин

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье предложена методика экспертной оценки факторов, определяющих эффективность технического сервиса сельскохозяйственных машин. Система факторов сформирована по пяти направлениям: ремонтный фонд, логистика, техническое обслуживание и диагностирование, ремонт, восстановление деталей. Для оценки значимости применяется метод ранжирования на порядковой шкале. Компетентность экспертов определяется через само- и взаимооценку, согласованность мнений – через коэффициент конкордации Кендалла с проверкой по критерию Пирсона. Результаты могут использоваться для внутреннего аудита и мониторинга сервисной деятельности.

Ключевые слова: технический сервис, сельскохозяйственные машины, экспертная оценка, ранжирование факторов, ремонтный фонд, техническое обслуживание, восстановление деталей.

EXPERT EVALUATION OF FACTORS DETERMINING THE EFFICIENCY OF TECHNICAL SERVICE OF AGRICULTURAL MACHINES

E.I. Lyubimova, T.V. Tsedashiev, P.I. Ilyin

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article proposes a methodology for expert evaluation of factors determining the efficiency of technical service of agricultural machines. The system of factors is structured in five areas: repair fund, logistics, maintenance and diagnostics, repair, and parts restoration. The ranking method on an ordinal scale is used to assess the significance of the factors. Expert competence is determined through self-assessment and peer assessment, and the consistency of opinions is checked using Kendall's coefficient of concordance with verification by Pearson's chi-squared test. The results can be used for internal audit and monitoring of service activities.

Key words: technical service, agricultural machines, expert evaluation, factor ranking, repair fund, maintenance, parts restoration.

Техническое состояние машин является одним из ключевых условий устойчивого выполнения производственных процессов [10]. В период эксплуатации машины подвергаются естественному изнашиванию, воздействию нагрузок, вибрации, температурных и других эксплуатационных факторов. В результате изменяются технические характеристики агрегатов и деталей, возрастает вероятность отказов и возникает потребность в техническом обслуживании, диагностировании и ремонте. Поэтому система технического сервиса должна рассматриваться как важнейшая составляющая жизненного цикла машин [6, 9].

Эффективность технического сервиса определяется не одним параметром, а совокупностью взаимосвязанных факторов [2]. К ним относятся объём и структура ремонтного фонда, обеспеченность ресурсами, организация информационных потоков, техническая оснащённость, качество диагностирования, соблюдение технологии ремонта, квалификация персонала и возможности восстановления изношенных деталей. Изменение одного фактора может приводить к изменению результатов функционирования других элементов [3].

Особенность данной задачи заключается в том, что ряд факторов имеет качественный характер либо проявляет влияние через сложную совокупность причин. Например, квалификация исполнителей непосредственно связана с качеством выполнения технологических операций, однако выразить её влияние на общий результат ремонта одной физической величиной затруднительно. Аналогично эффективность организации управления или информационного обеспечения не всегда может быть оценена только показателями времени и стоимости.

В таких условиях целесообразно применять экспертные методы. Их использование позволяет привлечь знания специалистов, непосредственно знакомых с рассматриваемыми процессами, и преобразовать их профессиональные

оценки в формализованную информацию. В исходном материале отмечается, что экспертный подход особенно востребован при высокой сложности проблемы, её новизне, недостаточности имеющейся информации и невозможности полной математической формализации.

Цель работы – сформировать и обосновать систему факторов, определяющих эффективность технического сервиса машин, с использованием экспертного ранжирования и математической обработки результатов.

Для достижения цели решались следующие задачи: определить основные элементы системы технического сервиса; сформировать перечень единичных факторов внутри каждого элемента; обосновать порядок формирования компетентной экспертной группы и показать возможности практического использования полученных результатов.

Методическую основу исследования составляет экспертное ранжирование факторов. Экспертные методы целесообразны при сложных задачах, когда влияние отдельных организационных и технологических переменных трудно выразить одной аналитической зависимостью [1]. В качестве экспертов рассматриваются специалисты инженерно-технического профиля, имеющие практические знания в области технического обслуживания, диагностики, ремонта и восстановления машин и их деталей [5].

Одним из основных требований к экспертной процедуре является обеспечение компетентности участников. Для этого используется два взаимодополняющих подхода: самооценка и взаимооценка. Самооценка характеризует информированность специалиста и степень его знакомства с проблемой [1]. Взаимооценка позволяет учитывать оценку компетентности со стороны других членов группы.

Коэффициент экспертной компетентности в исходной методике определяется с учётом самооценки и взаимооценки:

$$К_э = 0{,}4К_{сам} + 0{,}20К_{вз}, \quad (1)$$

где $К_э$ – коэффициент компетентности эксперта;
$К_{сам}$ – коэффициент самооценки;
$К_{вз}$ – коэффициент взаимооценки.

Необходимое количество экспертов определяется с учётом заданной доверительной вероятности и допустимой погрешности.

Для формализации экспертных оценок применяются шкалы различного типа. При решении рассматриваемой задачи преимущество имеет порядковая шкала, поскольку эксперту необходимо определить относительную последовательность факторов по степени их влияния. Такой подход позволяет работать с показателями, которые невозможно точно измерить на первоначальном этапе.

После заполнения экспертных листов производится математическая обработка. Определяется сумма рангов каждого фактора:

$$S_i = \Sigma\, a_{ij}, \quad (2)$$

где S_i – сумма рангов i-го фактора;
a_{ij} – ранг i-го фактора, присвоенный j-м экспертом.

Определяется средняя сумма рангов:

$$\bar{T} = \frac{m(n+1)}{2}, \quad (3)$$

где m - число экспертов; n - число оцениваемых факторов.

Затем рассчитывается отклонение каждого результата от средней величины:

$$J_i = S_i - T, \quad (4)$$

Основным показателем согласованности мнений является коэффициент конкордации Кендалла (W). В общем случае при отсутствии связанных рангов он может быть представлен зависимостью:

$$W = \frac{12S}{[m^2(n^3-n)]}, \quad (5)$$

где S – сумма квадратов отклонений сумм рангов от средней величины;
m – число экспертов;
n – число ранжируемых факторов.

При наличии одинаковых рангов в расчёт вводится поправка на связанные ранги. После определения W проводится проверка статистической значимости. Для этого применяется критерий Пирсона:

$$\chi^2 = m(n - 1)W, \quad (6)$$

Полученное значение сравнивается с критическим значением χ^2 при числе степеней свободы $\nu = n - 1$ и принятом уровне значимости. Такой порядок обработки позволяет отделить случайную близость экспертных оценок от статистически значимой согласованности.

В качестве базовой модели целесообразно рассматривать технический сервис как совокупность пяти взаимосвязанных направлений (таблица 1). Такая структура охватывает состояние ремонтного фонда, движение материальных и информационных ресурсов, техническое обслуживание и диагностику, ремонт машин и восстановление деталей и узлов.

Таблица 1 – **Обобщённые и единичные факторы, влияющие на эффективность ремонтного производства**

Обобщённый фактор	Единичные факторы
Состояние и состав ремонтного фонда	Капитальный ремонт машин; текущий ремонт машин; капитальный ремонт агрегатов; изношенность машин; изношенность агрегатов
Эффективность логистики	Информационное обеспечение; стратегия управления; планирование МТО; обеспечение ресурсами; транспортная и складская логистика
Качество ТО и диагностирования	Современные средства ТО и диагностики; состав исполнителей; полнота операций; соблюдение сроков; организационная форма
Качество ремонта машин	Современные средства ремонта; моечно-дефектовочные операции; разборка и сборка; послеремонтная обкатка; резервирование ремонтных ресурсов
Качество восстановления деталей и узлов	Новые технологии восстановления; автоматизация; технологии и средства упрочнения; квалификация исполнителей; организация и управление восстановлением

Предложенная структура позволяет перейти от общего понятия эффективности технического сервиса к конкретным управляемым характеристикам. При

этом факторы не являются полностью независимыми. Например, недостаток запасных частей и материалов отражается на продолжительности ремонта, а качество диагностики влияет на состав и объем последующих ремонтных операций [4].

При наличии связанных рангов в расчёт коэффициента конкордации вводится поправка на группы одинаковых рангов [1]. Это важно для практических опросов, поскольку специалисты могут считать несколько факторов равнозначными. Использование поправки предотвращает завышение или занижение степени согласованности.

Экспертная анкета должна содержать единый перечень факторов и одинаковую шкалу рангов для всех участников. Фрагмент опросной анкеты представлен в таблице 2. В рассматриваемой системе каждый обобщённый фактор включает пять единичных признаков. Такой формат позволяет проводить как общий анализ, так и детализацию причин, определяющих состояние технического сервиса.

Для получения устойчивой оценки целесообразно формировать группу специалистов, имеющих практический опыт технического обслуживания, диагностики, ремонта, восстановления деталей и организации материально-технического обеспечения. Численность экспертной группы должна обосновываться статистически с учётом требуемой доверительной вероятности и допустимой ошибки.

После заполнения анкет рассчитываются суммы рангов по каждому фактору.

Таблица 2 – **Фрагмент опросной анкеты о влиянии факторов на элемент производства**

Элемент	**Фактор**	**Балл ранжирования**					**Сумма баллов**
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	
Состояние и состав ремонтного фонда	1. Требуется капитальный ремонт полнокомплектных машин						
	2. Требуется текущий ремонт полнокомплектных машин						
	3. Требуется капитальный ремонт агрегатов						
	4. Уровень изношенности машин						
	5. Уровень изношенности агрегатов						

Следующим этапом является определение согласованности мнений. Коэффициент конкордации W принимает значения от 0 до 1: приближение к 1 соответствует более тесной согласованности ранжирования. Однако интерпретация результата должна учитывать число экспертов и количество факторов.

Статистическая проверка проводится с использованием χ^2. При сравнении расчётного и критического значений учитывается число степеней свободы. Если расчётное значение превышает критическое, согласованность экспертных оценок может считаться статистически значимой при принятом уровне значимости.

Результаты ранжирования могут быть преобразованы в весовые коэффициенты, необходимые для построения интегральной оценки [7]. В общем виде итоговый показатель может быть представлен как:

$$K\Sigma = \Sigma w_i k_i, \quad (7)$$

где w_i – вес i-го фактора;

k_i – нормированная оценка его состояния.

При этом веса должны удовлетворять условию нормировки: $\sum w_i = 1$.

Использование весовой модели позволяет перейти от качественного вывода «Фактор является значимым» к количественной оценке его вклада в интегральное состояние технического сервиса [8]. В дальнейшем значения k_i могут формироваться по объективным данным: длительности простоя, трудоёмкости, стоимости ремонта, доле повторных отказов, обеспеченности ресурсами, выполнению периодичности ТО и другим показателям.

Важным преимуществом такого подхода является возможность объединения экспертной информации с измеряемыми производственными показателями. Экспертный этап отвечает на вопрос о структуре факторов и их относительной значимости, а объективные показатели позволяют оценить фактическое состояние каждого направления.

Практическая ценность предложенной системы заключается в возможности использовать её как основу для внутреннего аудита технического сервиса. Периодическое повторение экспертной оценки позволяет выявлять изменение структуры проблем и контролировать результаты организационно-технологических мероприятий.

Для каждого из пяти направлений могут формироваться конкретные мероприятия. При выявлении проблем ремонтного фонда целесообразно уточнять структуру поступающей техники и планировать производственные мощности. При низкой оценке логистики анализируются снабжение, складирование и информационные потоки. При проблемах ТО и диагностики проверяются оснащённость, квалификация персонала и соблюдение периодичности. Для ремонта оцениваются технологическая дисциплина и оснащённость рабочих мест. Для восстановления деталей анализируются применяемые технологии, оборудование, квалификация и организация контроля качества.

Экспертный метод не заменяет инструментальные измерения. Его основная функция – структурирование профессионального знания и выявление относительной значимости факторов, которые сложно оценить единственным прямым измерением. Результат зависит от состава экспертной группы, качества анкеты, формулировок факторов и степени независимости участников.

Другим ограничением является возможность субъективного смещения оценок. Для его уменьшения необходимы предварительное определение критериев компетентности, анонимность индивидуальных оценок, единая инструкция для экспертов и статистическая проверка согласованности. Если коэффициент конкордации оказывается низким, это является основанием не для искусственного согласования мнений, а для анализа причин расхождения.

Следующим этапом развития методики может стать построение многокритериальной модели, в которой экспертные веса объединяются с фактическими

производственными показателями. Это позволит исследовать взаимосвязь между организационными факторами и результатами технического сервиса, включая продолжительность ремонта, трудоёмкость, стоимость, коэффициент технической готовности и повторные отказы.

Разработана система экспертной оценки факторов, определяющих эффективность технического сервиса сельскохозяйственных машин. Определены пять основных направлений: состояние и состав ремонтного фонда, эффективность логистики, качество технического обслуживания и диагностирования, качество ремонта машин, качество восстановления деталей и узлов. Для обработки результатов предусмотрены ранжирование, расчёт сумм рангов, определение отклонений от средней величины, расчёт коэффициента конкордации Кендалла и проверка его статистической значимости по критерию Пирсона. Методика создаёт основу для перехода от субъективного описания проблем технического сервиса к формализованной оценке при условии обоснованного формирования экспертной группы и статистического контроля согласованности. На следующем этапе целесообразно провести исследование с регистрацией фактических производственных показателей и определить численные значения весовых коэффициентов для конкретных условий эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Список литературы

1. Априорное ранжирование факторов экспериментов методом экспертных оценок / *Е.В. Нерода, Е.М. Зубрилина, И.А. Маркво* [и др.] // Материалы Национальной научно-практической конференции "Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе", посвященной 40-летию Белгородского ГАУ, Майский, 28 ноября 2018 года. – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2019. – С. 172-177. – EDN MRRBIQ.

2. *Бураев, М.К.* Влияние уровня производственно-технической эксплуатации на техническое состояние машин и периодичность их обслуживания / *М.К. Бураев, И.В. Оловников, П.И. Ильин* // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 35. – С. 64-74. – EDN MNLJAT.

3. *Бураев, М.К.* Логистическая поддержка системы производственно-технической эксплуатации машинно-тракторного парка / *М.К. Бураев, А.В. Шистеев* // Информационные технологии, системы и приборы в АПК : материалы 7-й Международной научно-практической конференции "Агроинфо-2018", Новосибирская обл., р.п. Краснообск, 24-25 октября 2018 года / Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Сибирский физико-технический институт аграрных проблем и др. – Новосибирская обл., р.п. Краснообск : Сибирский физико-технический институт аграрных проблем, 2018. – С. 383-386. – EDN VLWPLY.

4. *Бураева, Г.М.* Оценка внешних и внутренних факторов организации технического сервиса машин в АПК / *Г.М. Бураева* // Технический сервис машин. – 2022. – № 4 (149). – С. 13-20. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-4-13-20. – EDN OXUHEG.

5. *Егоров, И.Б.* Восстановление деталей как элемент рециклинга / *И.Б. Егоров, Г.М. Бураева, А.В. Шистеев* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. В III томах, Иркутск, 16-17 февраля 2023 года. Том II. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 62-67. – EDN MNJYVS.

6. *Егоров, И.Б.* Обеспечение работоспособности машин и оборудования применением аддитивных технологий при техническом сервисе / *И.Б. Егоров, М.К.* Бураев // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский

ГАУ, 03-04 октября 2024 года. – Иркутский : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 182-187. – EDN AFHDCG.

7. *Елтошкина, Е.В.* Методы педагогики в математической подготовке будущих специалистов сельского хозяйства / *Е.В. Елтошкина, А.В. Кузьмин, Т.В. Бодякина* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06-08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 336-341. – EDN OUYSMT.

8. Моделирование систем управления сельскохозяйственной техники / *П.А. Болоев, М.К. Бураев, С.С. Ямпилов* [и др.] // Вестник ВСГУТУ. – 2023. – № 3 (90). – С. 66-72. – DOI 10.53980/24131997_2023_3_66. – EDN RXNHSO.

9. Повышение работоспособности тракторов в сельском хозяйстве / *М.К. Бураев, НИ. Овчинникова, А. И. Аносова, А.В. Шистеев* // Вестник ВСГУТУ. – 2015. – № 6(57). – С. 20-25. – EDN VCODXL.

10. *Поляков, Г.Н.* Состояние и тенденции технического обеспечения АПК Иркутской области / *Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов* // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 52-57. – EDN NFCLTZ.

Сведения об авторах

Любимова Екатерина Ильинична – магистрант 1 курса инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный тел.: 89500881239, e-mail: katena.lybimova2305@mail.ru).

Цэдашиев Цырендаши Владимирович – старший преподаватель кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел.: 89500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Ильин Петр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасность жизнедеятельности и профессиональное обучение» инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89836938151e-mail: ipi.academy@mail.ru).

Information about the authors

Lyubimova Ekaterina I. – 1 st year master's student of the faculty of engineering of Irkutsk state agrarian university named after A.A. Yezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village tel.: 89500881239, e-mail: katena.lybimova2305@mail.ru).

Tsedashiev Tsyrendashi V. – senior lecturer, department of operation of the machine and tractor park, life safety and vocational training of engineering faculty. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).

Ilyin Peter I. – candidate of technical sciences, associate professor of the department "Operation of the machine and tractor fleet, life safety and vocational training" of the faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Yezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village, tel.: 89836938151, e-mail: ipi.academy@mail.ru).

УДК 004.89

ПРЕДИКТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МЕТОДАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

С.П. Матяш, **А.Е. Малинина**, **В.А. Крум**

ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий
Новосибирск, Россия

Аннотация. Статья посвящена проблематике внедрения интеллектуальных систем предиктивной аналитики в сферу технического сервиса сельскохозяйственной техники. Обосновывается необходимость смены парадигмы обслуживания мобильных энергетических средств: перехода от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию с применением нейросетевых алгоритмов. Рассматриваются методы обработки стохастических сигналов ДВС, архитектура глубокого обучения и практические аспекты ресурсосбережения. Приведены результаты сравнительного анализа моделей машинного обучения и расчёт экономической эффективности предлагаемого решения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ДВС, мобильные энергетические средства, АПК, предиктивная диагностика, нейронные сети, ресурсосбережение.

PREDICTIVE MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF MOBILE POWER UNITS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

S.P. Matyash, A.E. Malinina, V.A. Krum

FSBEI HE Siberian state university of engineering and biotechnology
Novosibirsk, Russia

Annotation. The article addresses the implementation of intelligent predictive analytics systems in the field of agricultural machinery maintenance. It justifies the necessity for a paradigm shift in the maintenance of mobile power units: transitioning from scheduled preventive maintenance to condition-based maintenance using neural network algorithms. The paper discusses methods for processing stochastic signals of internal combustion engines (ICE), deep learning architecture, and practical aspects of resource conservation. The results of a comparative analysis of machine learning models and calculations of the economic efficiency of the proposed solution are presented.

Key words: artificial intelligence, internal combustion engine (ICE), mobile power units, agro-industrial complex (AIC), predictive diagnostics, neural networks, resource conservation.

Современный этап развития агропромышленного комплекса (АПК) России характеризуется активной цифровизацией производственных процессов и внедрением элементов «Точного земледелия». Ключевым звеном в технологической цепочке остаются мобильные энергетические средства (МЭС) – тяжё лые тракторы, зерноуборочные и кормоуборочные комбайны. Выход из строя их силовых установок в пиковые периоды (посевная, уборочная кампания) влечёт за собой колоссальные убытки, связанные с простоем техники и невосполнимыми

агротехническими сроками. Традиционная стратегия планово-предупредительного обслуживания (ППР), основанная на жёсткой привязке к наработке в моточасах, имеет существенный недостаток: она не учитывает реальную нагруженность агрегата. В условиях переменных почвенно-климатических факторов и разнородности выполняемых работ такой подход часто приводит либо к преждевременной замене ресурсных узлов, либо к внезапным отказам. Решением данной проблемы является внедрение систем предиктивного мониторинга на базе искусственного интеллекта (ИИ) [4].

Интеллектуальный мониторинг технического состояния двигателей внутреннего сгорания (ДВС) базируется на непрерывном анализе параметров работы в режиме реального времени. В отличие от стандартных бортовых контроллеров, которые фиксируют выход параметров за предельные значения, системы ИИ способны выявлять скрытые тренды деградации узлов на ранних стадиях. Это становится возможным благодаря применению глубокого обучения (*Deep Learning*).

Архитектура предлагаемой системы включает сенсорный уровень (акселерометры, датчики давления и температуры), блок первичной обработки сигналов и облачное аналитическое ядро (рисунок 1). Информация с датчиков поступает в блок предобработки, где происходит фильтрация шумов и нормализация данных, а затем передаётся в нейросетевую модель для классификации состояния и прогнозирования ресурса [2].

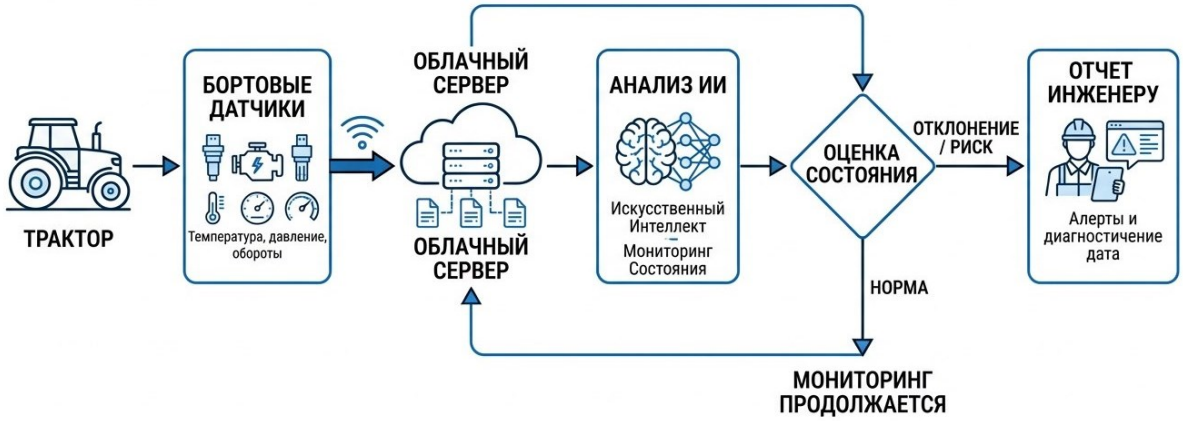


Рисунок 1 – **Архитектура системы предиктивного мониторинга ДВС**

Для анализа вибрационных сигналов, являющихся одним из наиболее информативных диагностических параметров, эффективно применять свёрточные нейронные сети (*CNN*). Они позволяют автоматически извлекать характерные признаки из спектрограмм, идентифицируя специфические паттерны износа подшипников коленчатого вала или сбои в работе газораспределительного механизма. Для прогнозирования временных рядов (динамики износа) используются рекуррентные сети *LSTM*, способные учитывать предысторию нагружения двигателя.

В ходе исследования была проведена сравнительная оценка различных архитектур нейронных сетей по критериям точности прогноза и времени, затрачиваемого на обучение модели (таблица 1). Анализ показал, что гибридные модели,

объединяющие слои *CNN* для выделения пространственных признаков и *LSTM* для анализа временных зависимостей, демонстрируют наивысшую точность при прогнозировании остаточного ресурса (*Remaining Useful Life, RUL*).

Таблица 1 – **Сравнительный анализ точности различных топологий ИИ-моделей**

Архитектура нейросети	Ошибка прогноза (RMSE)	Полнота выявления дефектов	Время обучения (ч)
Многослойный перцептрон (*MLP*)	0,24	76,5 %	12
Сверточная сеть (*CNN*)	0,12	89,2 %	48
Рекуррентная сеть (*LSTM*)	0,09	94,8 %	72
Гибридная модель (*CNN+LSTM*)	0,05	97,6 %	120

Особое внимание в методологии уделено очистке сигнала от аддитивных помех, неизбежно возникающих при работе МЭС в полевых условиях. Применение вейвлет-преобразования позволяет отделить полезный диагностический сигнал от вибраций корпуса и почвы, что существенно повышает достоверность работы нейросети [3].

Внедрение предиктивного мониторинга меняет саму логику материально-технического обеспечения агропредприятий. Вместо складирования огромного номенклатурного запаса запчастей «На всякий случай», формируется точечный заказ на основе прогноза ИИ. Система интегрируется с термоточки зрения, анализируя градиенты температур в масляных магистралях и давление в системе охлаждения (рисунок 2), что позволяет предотвращать термические перегрузки.

Экономический эффект от внедрения ИИ складывается из нескольких статей: снижение затрат на запчасти за счёт выработки полного ресурса узлом, экономия топлива при оптимальных режимах работы и, главное, минимизация убытков от простоев. Прогнозные показатели ресурсосбережения для типового хозяйства с парком в 20 единиц техники представлены в таблице 2.

Интеллектуальная система формирует для механизатора индивидуальные рекомендации по режимам эксплуатации. Например, при обнаружении начальной стадии закоксовывания поршневых колец алгоритм может предложить изменение нагрузочного режима или применение ремонтных присадок без вывода техники из капитального ремонта. Логика принятия решений системой строится на непрерывном сопоставлении текущих данных с эталонной моделью «Здорового» двигателя (рисунок 3) [1].

Таблица 2 – **Прогнозные показатели ресурсосбережения при использовании ИИ**

Статья эксплуатационных затрат	Снижение затрат, (%)	Экономия на 1 ед. техники (руб/год)
Запасные части и расходные материалы	18,5	450000
Топливо и смазочные материалы	6,2	120000
Оплата труда ремонтного персонала	12,4	85000
Ущерб от простоев в поле	34,0	950000

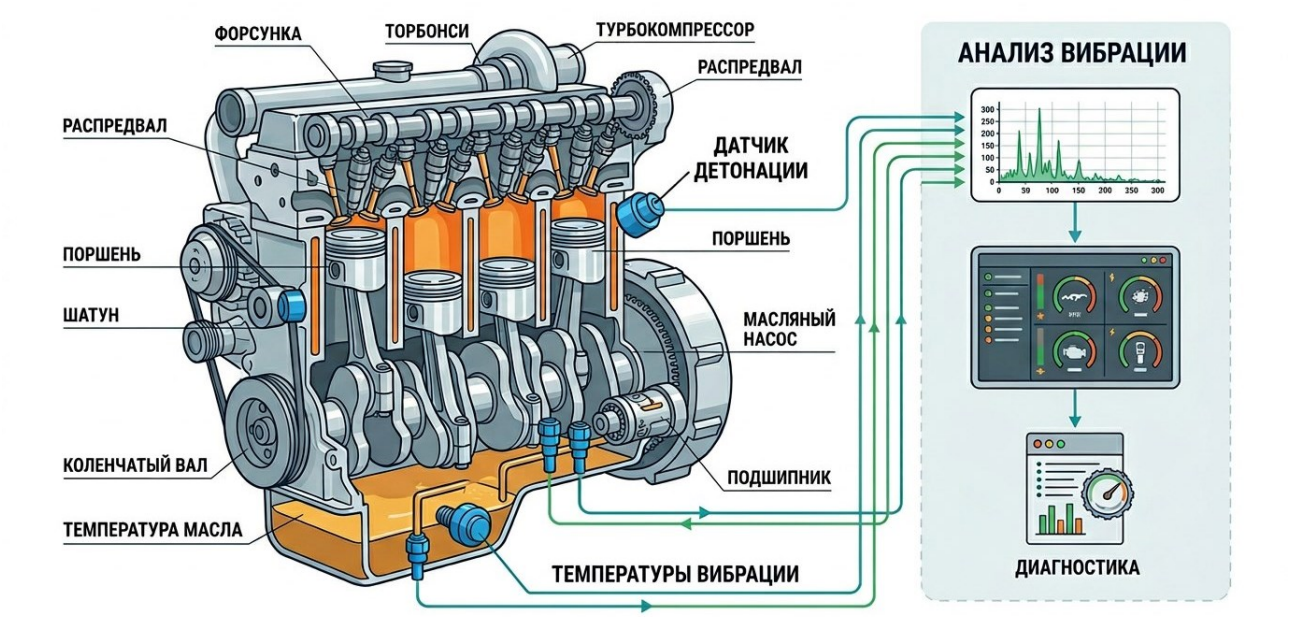


Рисунок 2 – **Схема термодинамического мониторинга и анализа вибраций**



Рисунок 3 – **Алгоритм принятия решений интеллектуальной системы сервиса**

Для условий Новосибирской области, где значительная часть сельхозугодий удалена от сервисных центров, предиктивная диагностика приобретает стратегическое значение. Возможность заранее заказать деталь и спланировать ремонт исключает риски длительных простоев в разгар полевых работ. Исследование подтвердило, что использование методов искусственного интеллекта позволяет достичь точности прогнозирования отказов ДВС на уровне 97 %, что открывает путь к реальному ресурсосбережению и повышению конкурентоспособности отечественного АПК. Дальнейшее направление исследований связано с разработкой автономных диагностических модулей, способных функционировать в условиях неустойчивой связи [5].

Список литературы

1. *Алексеев Е.Б., Желнов В.А., Насонов А.Ю.* Требования к метрологическому обеспечению технической эксплуатации цифровых транспортных систем [Электронный ресурс] // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 5 (114). – С. 6-17. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/trebovaniya-k-metrologicheskomu-obespecheniyu-tehnicheskoy-ekspluatatsii-tsifrovyh-transportnyh-sistem (дата обращения: 02.09.2026).

2. *Габидулин, В.Д.* Акустическое диагностирование двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс] // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4. – С. 134-138. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/akusticheskoe-diagnostirovanie-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya (дата обращения: 02.09.2026).

3. *Гришин, Н.Ю.* Обработка гидроакустических сигналов с помощью вейвлетов [Электронный ресурс] // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – № 8 (133). – С. 123-129. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-gidroakusticheskih-signalov-s-pomoschyu-veyvletov (дата обращения: 02.09.2026).

4. *Рустем А.М., Бадекова К.Ж.* Искусственный интеллект в диагностике: перспективы и вызовы [Электронный ресурс] // Наука и образование сегодня. – 2020. – № 5 (52). – С. 34-38. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-diagnostike-perspektivy-i-vyzovy (дата обращения: 02.09.2026).

5. *Яковлева М.В., Шалина А.И.* Разработка рекомендаций по внедрению предиктивного обслуживания оборудования на высокотехнологичных предприятиях [Электронный ресурс] // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2022. – Т. 2, № 8. – С. 44-52. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-rekomendatsiy-po-vnedreniyu-prediktivnogo-obsluzhivaniya-oborudovaniya-na-vysokotehnologichnyh-predpriyatiyah (дата обращения: 02.09.2026).

Сведения об авторах

Матяш Сергей Петрович – старший преподаватель кафедры «Автомобили и Тракторы», smataysh@yandex.ru. Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий (630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: 8 (383) 347-41-14, pk@edubiotech.ru).

Малинина Алёна Евгеньевна – студентка магистрант 1 курса группы 3121 akasiben23@gmail.com. Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий (630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: 8 (383) 347-41-14, pk@edubiotech.ru).

Крум Василий Андреевич – заведующего кафедрой «Автомобили и Тракторы», кандидат технических наук krumva@mail.ru. Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий (630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел.: 8 (383) 347-41-14, pk@edubiotech.ru).

Information about the authors

Matyash Sergey P. – senior lecturer at the department of automobiles and tractors, smataysh@yandex.ru. Siberian state university of engineering and biotechnology (160, Dobrolyubova st., Novosibirsk, 630039, Russia; Tel.: +7 (383) 347-41-14; e-mail: pk@edubiotech.ru).

Malinina Alyona E. – 1 st-year master's student (group 3121), akasiben23@gmail.com. Siberian state university of engineering and biotechnology (160, Dobrolyubova st., Novosibirsk, 630039, Russia; Tel.: +7 (383) 347-41-14; e-mail: pk@edubiotech.ru).

Krum Vasily A. – acting head of the department of automobiles and tractors, candidate of technical sciences, krumva@mail.ru. Siberian state university of engineering and biotechnology (160, Dobrolyubova st., Novosibirsk, 630039, Russia; Tel.: +7 (383) 347-41-14; e-mail: pk@edubiotech.ru).

УДК 621.892.3

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИОКОНСИСТЕНТНЫХ СМАЗОК

О.А. Свирбутович

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет
Иркутск, Россия

Аннотация. В статье приводятся данные по экологической нагрузки АПК, создаваемой транспортными средствами, не только выбросами отработавших газов в атмосферу, но и загрязнение биосферы эксплуатационными материалами. Одним из наиболее перспективных и эффективных направлений в решении проблемы продуктами износа является разработка и внедрение (био)консистентных смазок, которые позволят минимизировать долговременный экологический ущерб от неизбежных утечек и потерь нефтепродуктов для АПК, но и обеспечить соответствие эксплуатационных характеристик современных двигателей и агрегатов транспортных средств жестким требованиям технических регламентов.

Ключевые слова: пластичные смазки, (био)консистентные смазки, (био)разлагаемые смазки, снижения токсичности эксплуатационных жидкостей, снижении износа, экологическая нагрузка АПК.

ANALYSIS OF RESEARCH AND DEVELOPMENT INTO MANUFACTURING PROCESSES FOR BIOCOMPATIBLE LUBRICANTS

O.A. Svirbutovich

FSBEI HE Irkutsk national research technical university
Irkutsk, Russia

Annotation. This article presents data on the environmental impact of vehicles on the agro-industrial complex, not only through exhaust emissions but also through biosphere pollution from operating materials. One of the most promising and effective approaches to addressing wear and tear is the development and implementation of (bio)grease lubricants, which will minimize long-term environmental damage from inevitable leaks and losses of petroleum products in the agro-industrial complex and ensure that the performance characteristics of modern vehicle engines and components comply with stringent technical regulations.

Key words: plastic lubricants, (bio)grease lubricants, (bio)degradable lubricants, reducing the toxicity of operating fluids, reducing wear, environmental impact of the agro-industrial complex.

Современный этап развития АПК и транспорта характеризуется неуклонным ростом автомобильного парка. Автомобильный транспорт, являясь основой мобильности и логистики, одновременно выступает одним из наиболее мощных источников техногенного воздействия на окружающую среду. Экологическая нагрузка, создаваемая автотранспортом, не ограничивается лишь выбросами отработавших газов в атмосферу [8]. Существенный вклад в загрязнение биосферы вносят эксплуатационные материалы, в частности – потери и утечки горюче-смазочных материалов (ГСМ).

Традиционные смазочные материалы, производимые на основе минеральных и синтетических масел, обладают крайне низкой способностью к биологическому разложению и высокой токсичностью для почвенных биоценозов и водных экосистем. Попадая в окружающую среду при нарушении герметичности узлов, в процессе сервисного обслуживания или вследствие аварийных разливов, отработанные масла и пластичные смазки образуют устойчивые плёнки на поверхности воды и грунта, препятствуя естественному газообмену и миграции влаги [2]. Период полураспада нефтяных углеводородов в естественных условиях может достигать десятков лет, что приводит к долговременной деградации природных ландшафтов. В связи с ужесточением международных экологических стандартов и ростом требований к экологической безопасности транспортных средств, вопросы снижения токсичности эксплуатационных жидкостей, в том числе и смазок, приобретают первостепенное значение по многих отраслях народного хозяйства [10].

Смазка представляет собой техническое вещество, обычно применяемое в жидкой, пластичной или твёрдой форме, которое помещается между движущимися или соприкасающимися поверхностями механизмов, чтобы уменьшать износ, понижать трение и отводить тепло (рисунок 1). Её ключевая задача состоит в снижении трения и износа – без смазки любой механизм быстро перегрелся бы и разрушился. Жидкая смазка, например масло, забирает на себя часть тепла, нагреваясь и рассеивая энергию, что обеспечивает отвод тепла. Образуемая смазкой плёнка защищает металл от коррозии, предотвращая его контакт с кислородом и влагой. Густые составы работают как уплотняющая прокладка, удерживая давление или не давая вытекать другой смазке, например в редукторах [5]. Кроме того, жидкое масло вымывает продукты износа, такие как металлические частицы и пыль, и уносит их в фильтр или отстой, тем самым очищая механизм.

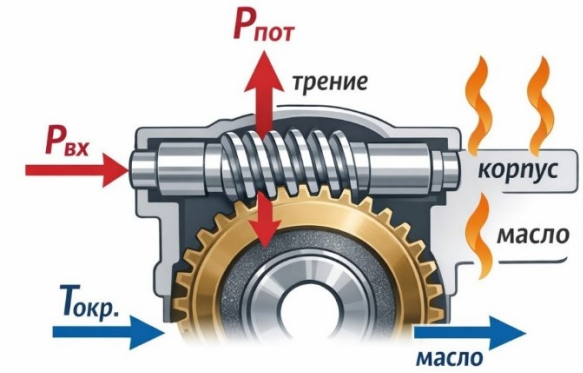


Рисунок 1 – **Процесс отвода тепла от механизмов с помощью масла**

В автомобильном транспорте смазка выполняет сразу несколько жизненно важных функций. Она разделяет трущиеся детали двигателя, коробки передач и ходовой части тончайшей масляной плёнкой, благодаря чему многократно снижается трение и замедляется износ шеек коленчатого вала, поршневых колец, подшипников и зубчатых зацеплений. Одновременно жидкое моторное или трансмиссионное масло отбирает избыточное тепло от нагретых зон, например от днищ поршней, и рассеивает его в поддоне картера, не давая узлам перегреваться. Постоянная циркуляция смазки вымывает из пар трения

микроскопические металлические частицы, сажу и нагар и переносит их к фильтру, поддерживая чистоту внутри агрегата. Масляная плёнка герметизирует зазоры между поршнем и цилиндром, препятствуя прорыву газов в картер, а пластичные смазки в ступицах, шарнирах и наконечниках рулевых тяг одновременно уплотняют узел и защищают его от попадания воды, грязи и реагентов. Наконец, смазка предохраняет все металлические поверхности от коррозии, покрывая их слоем, не пропускающим влагу и кислород, что особенно важно при длительных стоянках и в условиях переменчивой погоды (таблица 1).

Без правильно подобранной смазки любой автомобильный агрегат быстро выйдет из строя, поэтому качество и своевременная замена смазочных материалов напрямую определяют надёжность, ресурс и безопасность транспортного средства.

Одним из наиболее перспективных и эффективных направлений в решении проблемы загрязнения биосферы продуктами износа автотранспорта является разработка и внедрение (био)консистентных смазок (таблица 1). Данный класс материалов представляет собой альтернативу традиционным смазкам, где в качестве базовой основы используются не нефтяные масла, а сложные эфиры растительного происхождения (рапсовое, соевое, подсолнечное масла) или продукты химического синтеза, способные к ускоренной биодеградации под воздействием микроорганизмов и естественных абиотических факторов. Применение (био)консистентных смазок рассматривается как важный инструмент реализации концепции устойчивого развития на транспорте АПК [7].

Таблица 1 – **Характеристика (био)консистентной смазки**

Основа	Применение	Главная цель
Базовое масло: синтетические сложные эфиры, рапсовое масло или другие растительные масла. **Загуститель:** кальциевое, литиевое, литий-кальциевое или комплексное кальциевое мыло. **Присадки:** противозадирные (EP), антиокислительные, антикоррозионные и противоизносные добавки.	**Экоальтернатива** для сельского, лесного, строительного хозяйства и судоходства, где смазка может попасть в почву или воду. Её рекомендуют для открытых механизмов и проточных систем смазки.	**Снижение экологического ущерба**: обеспечить быструю биохимическую деградацию смазки в окружающей среде после утечки, сохранив высокие смазывающие свойства на период эксплуатации.

Пластичные (консистентные) смазки – это особый класс густых, мазеобразных смазочных материалов, которые по своей природе находятся где-то между жидкими маслами и твёрдыми антифрикционными покрытиями. По сути, это коллоидная система, основу которой составляет жидкое масло (минеральное или синтетическое), а свой каркас и высокий предел текучести она обретает благодаря введению загустителя, чаще всего металлического мыла вроде литиевого или кальциевого, хотя могут применяться и другие вещества. Именно это сочетание даёт смазке уникальную способность: при низких нагрузках она ведёт себя как почти твёрдое тело, удерживаясь на детали, а под воздействием сил трения и нагрева размягчается до состояния вязкой жидкости, надёжно разделяя поверхности. Главное предназначение пластичных смазок – работать там, где жидкое

масло попросту не справится. Они незаменимы в узлах трения, от которых требуется долгая автономная работа без постоянного подвода свежего масла: в подшипниках качения и скольжения, шарнирах, направляющих, открытых зубчатых передачах (рисунок 2). Смазка не просто снижает износ и потери энергии на трение, она формирует на поверхности металла плотный защитный слой, который противостоит коррозии даже в очень влажной или химически агрессивной среде (рисунок 3). Благодаря своей консистенции она работает как уплотнитель, буквально запечатывая зазоры от проникновения пыли, абразивных частиц и воды, продлевая жизнь механизма. Помимо этого, существуют смазки со специальными свойствами: одни гасят шум и вибрации, другие служат токопроводящими или, наоборот, изолирующими составами [3].



Рисунок 2 – **Пластичные смазки в механизмах**



Рисунок 3 – **Последствия недостатка и отсутствия смазки**

(Био)консистентная смазка – это пластичный смазочный материал, созданный на основе (био)разлагаемых компонентов, который предназначен для экологически безопасного использования в узлах трения и механизмах.

Проведённый анализ назначения (био)консистентных смазок показывает, что они выполняют ключевую роль в снижении трения, защите от износа, коррозии и перегрева в узлах машин и механизмов. Наиболее широко эти смазки востребованы в отраслях с высокими экологическими требованиями (таблица 2).

Таблица 2 – **Применение смазок**

Отрасль / Оборудование	**Примеры применения смазок**	**Типичные узлы смазки**
Лесное хозяйство	Харвестеры, форвардеры, бензопилы	Цепи, направляющие шины, шарниры, подшипники
Сельское хозяйство	Тракторы, комбайны, посевная техника	Подшипники, цепи, открытые зубчатые передачи, шпиндели
Водный транспорт и гидротехника	Суда, портовые краны, оборудование на шельфе	Открытые зубчатые передачи, лебедки, подшипники, палубное оборудование
Строительство и горное дело	Строительная и дорожная техника, буровые установки	Резьбовые соединения, шарниры, подшипники, направляющие
Железнодорожный транспорт	Смазка гребней колес, рельсов (в т.ч. для снижения шума)	Гребни колесных пар, боковые поверхности рельсов
Промышленность	Станки, бумагоделательные и текстильные машины	Подшипники, цепи, направляющие, муфты
Автомобильный транспорт	Легковые и грузовые автомобили, автобусы, спецтехника на колёсном ходу	Подшипники ступиц колёс, шарниры рулевых тяг, крестовины карданных валов, ШРУСы, направляющие суппортов, замки, петли

На основе вышеизложенного нами выполнен анализ разработок и научных направлений в области изготовления (био)консистентных смазок из растительного сырья, который позволяет сделать вывод, что на сегодняшний день активно ведутся исследования и разработки в данной области, а именно, создаются смазочные материалы из растительных масел с использованием различных загустителей и присадок, которые позволяют улучшить физико-химические и экологические свойства (био)смазок (таблица 3).

Таблица 3 – **Направления научных исследований в области изготовления (био)смазок**

Автор	**Тема научного исследования**	**Цель**	**Особенность**
1	**2**	**3**	**4**
Леванов И. Г.	«Развитие теории, реологических моделей и методов исследования нетоксичных противоизносных компонентов для (био)разлагаемых смазочных материалов на основе растительных масел и синтетических сложных эфиров».	Создание нетоксичного (био)разлагаемого смазочного масла, которое по своим трибологическим (противоизносным) характеристикам и устойчивости к нагрузкам превзойдёт масла на основе рапсового и касторового масел.	Для разработки использовались растительные масла и синтетические сложные эфиры.

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
Мухортов И. В.	«Технология производства импортозамещающих (био)разлагаемых моторных масел для сельскохозяйственной техники и моторных лодок».	Создание собственного (био)разлагаемого масла для отказа от импортных моторных масел.	В основе разработки лежат сложные эфиры спиртов и многоосновных органических кислот.
Уханов Д.А., Уханов А.П., Володько О.С. Быченин А.П.	«Смазочная способность (био)керосина».	Экспериментальная оценка добавления растительного масла и его влияние на смазывающую способность топлива.	Для создания (био)керосина использовались растительные масла.
Группа Хамидона	«Обзорное исследование влияния (био)разлагаемых смазок на выбросы, износ, трение и вязкость в ДВС».	Выявление влияния (био)смазки на рабочие характеристики ДВС.	(Био)смазка изготавливалась из пальмового масла.
Группа *HITEC University*	«Синтез (био)смазки из хлопкового масла для снижения трения и износа».	Исследование экологичной смазки из хлопкового масла и оценка её трибологических свойств.	Зелёная смазка синтезировалась в процессе двухстадийной переэтерификации.
Университет *NUST*	«Синергия (био)смазок и DLC-покрытий в паре «кулачок-толкатель»».	Оценка возможности замены традиционных моторных масел экологически чистыми биоосновами в паре с алмазоподобными (*DLC*) покрытиями для деталей ГРМ.	Химически модифицированные растительные масла предлагались в качестве базовой основы, а *DLC*-покрытия наносились на пару «Кулачок-толкатель».
Ковалева И.Н., Сычев А.П., Пигунов А.В., Шубитидзе В.В., Подгорная В.В.	«Перспективы (био)разлагаемых смазок для железнодорожного транспорта».	Анализ триботехнических и физико-механических свойств растительных и животных жиров в сравнении с традиционными нефтяными маслами.	Систематизация знаний о растительных и животных жирах, как о полноценной альтернативе для создания более безопасных и экологичных смазок.
Пермякова И.	«Экспериментальная (био)смазка из отходов».	Разработка технологии использования отработанного фритюрного масла для создания экологичных смазочных материалов.	Применение гидрофобов – специальных белков, выделенных из дрожжей *Yarrowia lipolytica*.
Говорин А.	«Моторное масло для Арктики из отходов целлюлозы».	Создание (био)разлагаемого моторного масла для эксплуатации в экстремальных	Использование в качестве сырья отходов целлюлозно-бумажной промышленности.

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
		климатических условиях Арктики и Крайнего Севера.	
Бугаев А.М.	«Использование рапсового масла с присадкой «Валена» в качестве рабочей жидкости гидросистем тракторов»	Заменить традиционные масла на возобновляемое и (био)разлагаемое рапсовое масло, улучшив его свойства специальной присадкой.	Использование рапсового масла в паре с присадкой «Валена» с целью снижения старения, износа и пенообразования.

Переход на (био)консистентные смазки позволяет не только минимизировать долговременный экологический ущерб от неизбежных утечек и потерь нефтепродуктов для АПК, но и обеспечить соответствие эксплуатационных характеристик (трибологических, противоизносных, антикоррозионных) современных двигателей и агрегатов транспортных средств жёстким требованиям технических регламентов, основным из которых является «ТР ТС 030/2012».

Список литературы

1. *Данилов, А.М.* Современное состояние исследований в области (био)разлагаемых смазочных материалов / *А.М. Данилов, А.С. Антонов, Р.В. Бартко, П.А. Никульшин* // Нефтехимия. – 2021, Т. 61. № 4. – С. 445-460.

2. *Eltoshkina, E.V.* Evaluation of the limit properties of a solid body system / *E.V. Eltoshkina, P.I. Ilyin, N.I. Ovchinnikova, O.A. Svirbutovich, D.M. Rozhkov* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICI2AE 2019. – 2019. – С. 012023.

3. *Копылова, М.Ю.* Исследование физико-химических свойств моторного масла при попадании в него топлива. / *М.Ю. Копылова, М.И. Напортович, В.Э. Морозов, О.А. Свирбутович* // Молодой ученый. – 2026. № 10 (613). – С. 45-50.

4. *Паренаго, О.П.* Состояние и перспективы развития производства (био)разлагаемых пластичных смазок. / *О.П. Паренаго, Р.З. Сафиева, С.В. Антонов, Н.Д. Стенина, А.С. Лядов.* // Нефтехимия. – 2017, Т. 57, № 6. – С. 766-768.

5. *Rozhkov, D.* Mathematical modeling of the differential dynamics of the galvanic process of restoring the seats of the main supports of autotractor engines. / *D. Rozhkov, P. Ilyin, E. Eltoshkina, O. Svirbutovich* // В сборнике: International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). Proceedings of the International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). 2019. С. 288-297.

6. *Свирбутович, О.А.* Стандартизация как основа формирования принципов менеджмента качества на предприятиях автомобильного транспорта / *О.А. Свирбутович* // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2010. - № 11. – С. 103-107.

7. *Свирбутович, О.А.* Роль транспортно-логистических систем в развитии агропромышленного комплекса иркутской области / *О.А. Свирбутович* // Социально-экономические проблемы развития экономики АПК в России и за рубежом. Материалы всероссийской научно-практической конференции молодых учёных и студентов. – 2017. – С. 123-130.

8. *Свирбутович, О.А.* Влияние автотранспортных средств на экологическую безопасность г. Иркутска / *О.А. Свирбутович, В.О. Пределин* // Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции. – 2019. – С. 112-118.

9. *Свирбутович, О.А.* Алгоритм превращения топлива в отработавшие газы при работе двигателя внутреннего сгорания / *О.А. Свирбутович, Д.М. Казанцев* // Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции. - 2019. - С. 106-111.

10. *Ященко Л.А.* Анализ автомобильных топлив и их влияние на состояние окружающей среды / *Ященко Л.А., Юнусов Ш.А., Свирбутович О.А.* // Проблемы развития экономики и предпринимательства. Сборник научных трудов XIX всероссийской научно-практической конференции. – 2022. – С. 85-89.

Сведения об авторе

Свирбутович Ольга Александровна – кандидат социологических наук, доцент, доцент кафедры «Автомобильный транспорт, строительные и дорожные машины». ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова д. 83, ауд. К-125, тел.: 8(3952)405689, e-mail: zazetta77@mail.ru).

Information about the authors

Svirbutovich O.A. – candidate of sociological sciences, associate professor, associate professor at the department of «Automobile transport, construction and road machines». Federal state budgetary educational institution of higher education «Irkutsk national research technical university» (664074, Russia, Irkutsk, Lermontov st., 83, room K-125, tel.: 8(3952)405689, e-mail: zazetta77@mail.ru).

УДК 629.1.06

ПОВЫШЕНИЕ ПУСКОВОЙ НАДЁЖНОСТИ ДВС В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ ПУТЁМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛА АКБ

А.П. Сырбаков, Н.Н. Бережнов

ФГБОУ ВО Кузбасский ГАУ
Кемерово, Россия

Аннотация. Статья посвящена проблеме обеспечения надежного пуска автотракторных двигателей в условиях низких температур окружающего воздуха. Отмечается, что одним из ключевых факторов, ограничивающих пусковую надёжность двигателя, является снижение работоспособности аккумуляторной батареи (АКБ) вследствие падения температуры электролита, что приводит к уменьшению отдаваемой ёмкости и пусковых токов. В качестве способа решения данной проблемы предложено применение теплового аккумулятора энергии на базе утеплительного термобокса и нагревательного элемента, устанавливаемого на АКБ. Представлены результаты экспериментальных исследований температурных режимов АКБ при использовании предложенного технического решения, подтверждающие эффективность применения теплового аккумулятора для повышения эксплуатационной надежности систем пуска автотракторных двигателей в зимний период.

Ключевые слова: аккумулирование тепла, аккумуляторная батарея, холодный пуск ДВС, отрицательные температуры.

IMPROVING THE COLD-START RELIABILITY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN WINTER CONDITIONS BY STORING HEAT IN THE BATTERY

A.P. Syrbakov, N.N. Berezhnov

FSBEI HE Kuzbass state agrarian university
Kemerovo, Russia

Annotation. This article addresses the challenge of ensuring reliable starting of automotive and tractor engines in low ambient temperatures. It notes that a key factor limiting starting reliability is the reduced performance of the battery caused by a drop in electrolyte temperature, which leads to a decrease in available capacity and cranking currents. To resolve this issue, the authors propose using a thermal energy storage system consisting of an insulating enclosure and a heating element mounted on the battery. The article presents experimental results regarding battery temperature profiles when using this proposed solution, confirming the effectiveness of the thermal storage system in enhancing the operational reliability of engine starting systems during winter.

Key words: heat accumulation, storage battery, cold start of an internal combustion engine, sub-zero temperatures

Проблемы повышения эффективности зимней эксплуатации автотранспортных машин в условиях низких температур являются для России актуальными. В нашей стране более 80 % территории находится в зоне холодного климата. При этом подавляющее большинство двигателей выпускается без эффективных устройств облегчения холодного пуска и систем предпускового разогрева. Пуск ДВС в условиях пониженных температур окружающей среды без предпусковой подготовки, т.е. из холодного состояния, создаёт эксплуатационникам множество проблем [1, 3]. Большинство автомобилей при температурах ниже -30° С теряют свою работоспособность.

В условиях низких температур окружающего воздуха наиболее эффективным средством обеспечения надёжного пуска является предпусковая подготовка двигателя, организация хранения техники в закрытых помещениях и предпусковой разогрев основных систем двигателя [2, 5].

Анализ процесса пуска двигателя показывает, что одним из мероприятий по повышению надёжности пуска двигателя из холодного состояния является [3, 9]:

1. Повышение крутящего момента стартера;
2. Уменьшение момента сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя;
3. Улучшение индикаторных показателей двигателя.

Повышение крутящего момента стартера можно обеспечить разными методами, одним из которых является поддержание максимальной ёмкости АКБ машины в период межсменной стоянки транспорта, путём сохранения теплового состояния АКБ от предыдущей поездки автомобиля [4, 6].

Хотелось отметить, что отрицательные температуры существенно снижают ёмкость и пусковые характеристики автомобильных АКБ: замедляются электрохимические реакции, растёт внутреннее сопротивление, падает отдаваемый ток. При снижении температуры электролита на 1° С, ёмкость АКБ снижается примерно на 1 %, от базовой температуры электролита +25° С. Так при температуре электролита минус 25° С, ёмкость АКБ снижается на половину. Следствие – рост отказов при пуске ДВС в зимний период, увеличение

эксплуатационных затрат и простоев автотранспорта [7, 8].

Отмечено, что АКБ легковых автомобилей, в отличии от грузовых автомобилей, как правило расположены в подкапотном пространстве моторной установки, и тепловой режим аккумуляторов в основном определяется тепловым состоянием подкапотного пространства, и менее подвержены влиянию отрицательных температур при работе транспортных средств и кратковременных стоянках транспорта [9].

На основе конструктивных отличий, связанных с разным расположением АКБ на легковых и грузовых автомобилях, нами предлагается исследовать влияние температурного поля в подкапотном пространстве легкового автомобиля на теплообменные процессы в АКБ, в зависимости от условий и режимов работы автомобиля в зимний период.

В качестве объекта исследования был выбран двигатель ВАЗ 21126, как один из распространённых двигателей в линейке автомобилей концерна *LADA*.

Для улучшения технических показателей АКБ, снижения отказов предлагается применение комплекса мер, направленного на улучшение работоспособности АКБ в условиях низких температур окружающего воздуха. К данному комплексу можно отнести применение теплоодеяла, термозащиты радиатора, а также термокейса и нагревательного элемента АКБ.

В качестве теплоодеяла был использован утеплитель двигателя автомобиля *HeatShield*, 1350х800 мм, производства *STP*. В качестве утеплителя АКБ применили термокейс фирмы «Термо» ТК-Е4 и для подогрева аккумулятора автомобиля в термокейсе нагревательный элемент с терморегулятором НТА-1/2 мощностью 30 Ватт.

Исследование проводится в два этапа: и заключаются в сравнительной оценке влияния дополнительного утепления подкапотного пространства и АКБ на работоспособность аккумулятора в условиях отрицательных температур, т.е. с утеплением подкапотного пространства и АКБ+электроподогрев, и без утепления (в стандартной комплектации).

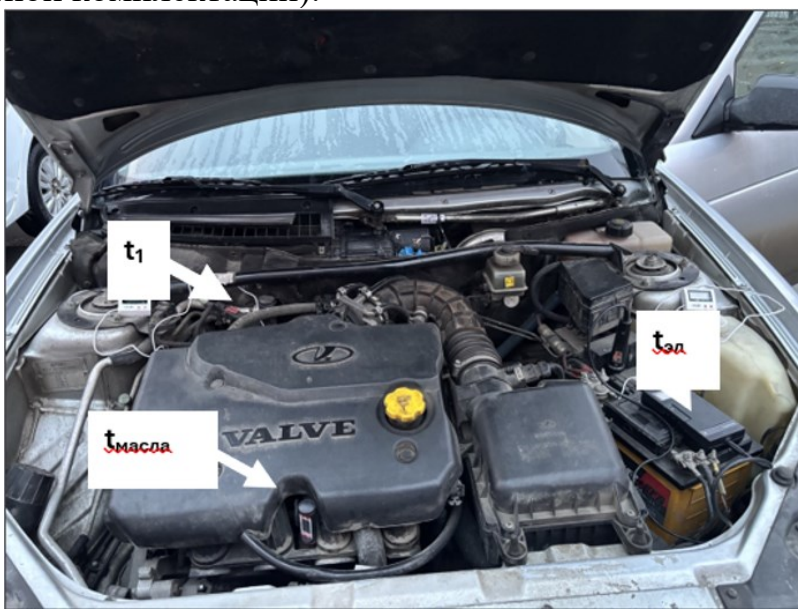
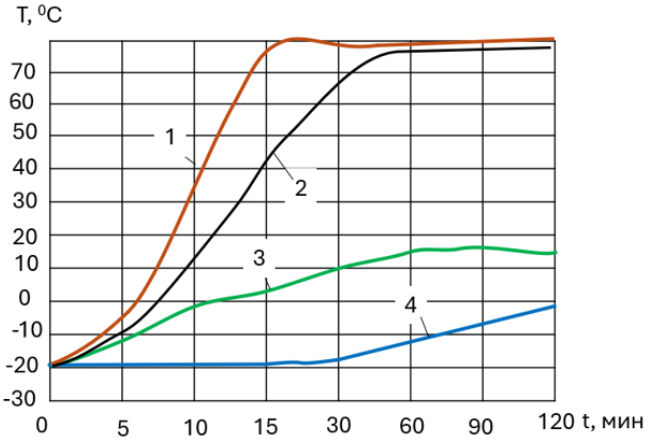


Рисунок 1 – **Схема расположение температурных датчиков в подкапотном пространстве автомобиля ВАЗ-21126**

Исследуемыми параметрами являлись температура охлаждающей жидкости, масла в картере двигателя, электролита, и температура подкапотного пространства. Все параметры замерялись относительно времени при различных режимах работы автомобиля (прогрев, движение, межсменная стоянка).

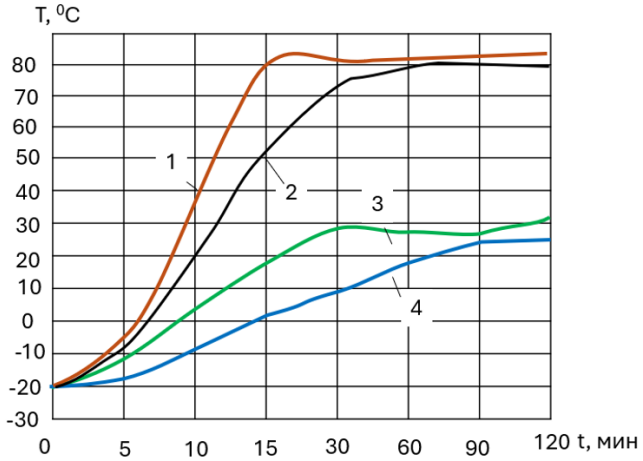
В качестве основного измерительного оборудования использовался термометр электронный с выносным датчиком температуры *ULBI H*4, а также автосканер адаптер *OBD*II *mini Bluetooth*, *ELM*327, для отслеживания оборотов холостого хода и температуры охлаждающей жидкости двигателя.

Результаты исследований (рисунки 2 и 3) показали результативность применения утепления подкапотного пространства автомобиля и АКБ на работоспособность системы пуска при низких температурах.



1 – Температура охлаждающей жидкости ДВС; 2 – Температура моторного масла в картере двигателя; 3 – Температура в подкапотном пространстве, около АКБ; 4 – Температура электролита АКБ.

Рисунок 2 – **Температурные показатели технических жидкостей двигателя автомобиля ВАЗ-21126 и электролита АКБ в заводском исполнении в режиме прогрева и ездового циклав городских условиях (температура окружающей среды -20° С)**



1 – Температура охлаждающей жидкости ДВС; 2 – Температура моторного масла в картере двигателя; 3 – Температура в подкапотном пространстве, около АКБ; 4 – Температура электролита АКБ.

Рисунок 3 - **Температурные показатели технических жидкостей двигателя ВАЗ-21126 и электролита АКБ с использованием автоодеяла, термозащиты радиатора и нагревательной пластины АКБ в режиме прогрева и ездового цикла в городских условиях (температура окружающей среды -20° С)**

Графические зависимости представленные на рисунках 2 и 3 описывают один и тот же сценарий эксплуатации легкового автомобиля: холодный пуск при -20° С, 15 минут прогрева на холостых, затем 105 минут движения под нагрузкой (городской режим). Разница только в теплоизоляции ДВС (термоодеяло) и активном подогреве АКБ (термобокс + нагреватель 30 Вт).

Темп прироста температуры охлаждающей жидкости (рисунки 1 и 2) практически совпадает, что физически логично: температура ОЖ определяется термостатом и тепловым балансом самого двигателя, а не теплоизоляцией подкапотного пространства.

Темп прироста температуры моторного масла двигателя в обоих случаях также совпадает, и утепление двигателя практически не влияет на интенсивность нагрева технической жидкости.

Темпы прогрева подкапотного пространства на этапе холостого хода (0-15 мин.): без утепления 1-2° С/мин, с утеплением 2-3° С/мин, то есть термоодеяло почти удваивает темп аккумуляции тепла уже на старте, потому что снижает конвективные потери от блока двигателя в окружающую среду.

Таким образом, подкапотное пространство ведёт себя как тепловая ёмкость с потерями в окружающую среду и притоком от двигателя; утеплитель снижает коэффициент теплоотдачи в атмосферу, что смещает баланс оттока тепловой энергии и поднимает равновесную температуру примерно на 15-18° С.

Динамика нагрева АКБ, это самый показательный узел сравнения, поскольку здесь работает не только пассивная изоляция подкапотного пространства, но и активный источник – нагревательный элемент 30 Вт (рисунок 2).

Темпы нагрева электролита АКБ:

1. Рисунок 1 (без активного подогрева): 0° С/мин. на этапе прогрева, далее выходит на 0,13-0,2° С/мин. и линейно растёт весь цикл движения. Ноль градусов достигается только к 120-й минуте.

2. Рисунок 2 (термобокс + нагревательный элемент 30 Вт): темп нагрева уже 0,3° С/мин. с первых минут, достигает пика 2,4° С/мин. на 10-15 минуте. 0° С достигается на 14-й минуте, то есть в 8,5 раза быстрее, чем без подогрева.

У АКБ на рисунке 1, наблюдается фазовое отставание от подкапотного пространства (АКБ греется почти линейно и медленно, без выраженного пика, потому что связь с горячим воздухом моторного отсека слабая – только конвекция через открытый корпус). На рисунке 2 форма кривой АКБ частично повторяет форму кривой подкапотного пространства и ОЖ с пиком на 10-15 минуте – то есть термобокс с нагревательным элементом создаёт прямую тепловую связь между источником (нагреватель + горячий воздух через утеплённый отсек) и корпусом батареи, устраняя тепловую инерцию, характерную для свободной конвекции.

На основе анализа экспериментальных зависимостей можно сделать предварительное заключение о том, что три контура подкапотного пространства демонстрируют разную тепловую инерцию и разную чувствительность к теплоизоляции.

ОЖ и масло – быстрые контуры, управляемые внутренним тепловыделением двигателя и термостатом, почти не зависят от утепления подкапотного пространства (разница температур на плато 1-2° С).

Подкапотное пространство – контур средней инерции, напрямую зависящий от баланса теплопритока от двигателя и теплопотерь в атмосферу; утепление поднимает равновесную температуру на 15-18° С и, что важно, устраняет выхолаживание при движении под обдувом.

АКБ – самый медленный и наиболее уязвимый узел при отсутствии подогрева (естественная конвекция от воздуха моторного отсека слишком слаба, чтобы обогреть аккумулятор). Комбинация термобокса и нагревательного элемента для АКБ кардинально меняет картину: время выхода электролита на положительную температуру сокращается с 120 до 15 минут, а итоговая температура на 23° С выше при тех же климатических условиях.

Это подтверждает практическую целесообразность предложенного в статье решения: пассивное утепление ДВС эффективно только для контура «Подкапотное пространство – двигатель», но для гарантированного и быстрого обогрева АКБ.

Хотелось отметить, что применение теплоизолирующего короба АКБ совместно с электрическим нагревательным элементом, обеспечивает двухэтапный тепловой режим эксплуатации АКБ. На первом этапе, во время движения автомобиля, за счёт работы нагревательного элемента происходит принудительный подъём температуры электролита от отрицательных значений до положительных в течение времени поездки. На втором этапе, при межсменной стоянке автомобиля с выключенным двигателем, термоизолирующий корпус выполняет функцию пассивного теплового барьера: снижает интенсивность конвективного теплообмена АКБ с холодным окружающим воздухом моторного отсека, тем самым уменьшая темп остывания электролита по сравнению с неизолированной батареей.

В результате к моменту последующего пуска двигателя аккумулятор сохраняет более высокую остаточную температуру электролита, чем при отсутствии термобокса. Поскольку ёмкость и способность АКБ отдавать пусковой ток критически зависят от температуры электролита (при снижении температуры увеличивается внутреннее сопротивление и падает эффективная ёмкость), сохранение остаточного теплового запаса обеспечивает частичное сохранение работоспособной ёмкости батареи и, соответственно, более надёжный пуск двигателя внутреннего сгорания в условиях отрицательных температур окружающей среды.

Список литературы

1. *Бережнов, Н.Н.* Повышение эффективности прогрева тракторных двигателей / *Н.Н. Бережнов, А. П. Сырбаков, М.А. Корчуганова* // Сельский механизатор. – 2017. – № 12. – С. 12-13.

2. *Иванов, З.А.* Приспособление для быстрого запуска дизельного двигателя в условиях отрицательных температур / *З.А. Иванов, Ю.С. Янкин, А.П. Сырбаков* // Молодежь, инновации, технологии : Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, Новосибирск, 23-25 апреля 2019 года / Под редакцией Е.Г. Гуровой, С.В. Макарова. –

Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – С. 38-39.

3. *Корчуганова, М.А.* Средства обеспечения пуска тракторных двигателей в условиях отрицательных температур / *М.А. Корчуганова, А.П. Сырбаков* // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 80. – С. 134-142.

4. *Кучер, А.В.* Повышение эффективности использования энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур при различных температурных режимах / *А.В. Кучер, С.В.Щитов, Е.Е.Кузнецов, З.Ф.Кривуца* // Дальневосточный аграрный вестник. - 2021. - № 3 (59). - С. 86-92.

5. *Пустыльников, С.А.* Повышение возможности пуска тракторных двигателей в условиях отрицательных температур / *С.А. Пустыльников, А.П. Сырбаков, М.А. Корчуганова* // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования : Материалы X региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова, Новосибирск, 12-13 ноября 2018 года. – Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2018. – С. 240-242.

6. *Разяпов, М.М.* Снижение риска отказов мобильной сельскохозяйственной техники и транспортных средств в условиях низких температур / *М.М. Разяпов, Д.А. Гусев*. В сборнике: Реновация машин и оборудования Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 160-166.

7. Современная концепция тепловой подготовки автотракторной техники в условиях низких температур. / *А.В. Неговора, М.М. Разяпов, С.З. Инсафуддинов* / Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (48). С. 135-141.

8. *Сырбаков, А.П.* Тепловая подготовка дизельных двигателей / *А.П. Сырбаков, Н.Н. Бережнов, М.А. Корчуганова, С.П. Матяш* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 8 (178). – С. 167-174.

9. *Сырбаков, А.П.* Улучшение пусковых характеристик дизельного двигателя в условиях отрицательных температур / *А.П. Сырбаков* // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы" : Материалы IV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 25 июня 2020 года. – Кемерово : Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 27-31.

Сведения об авторах

Сырбаков Андрей Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия». Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова (650056, Россия, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, тел.: 8(3842)734359, e-mail: sirbakovap@yandex.ru).

Бережнов Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия». Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова (650056, Россия, Кемеровская область-Кузбасс, г. Кемерово, тел.: 8(3842)734359, e-mail: n.berezhnov@mail.ru).

Information about the authors

Syrbakov Andrey P. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of agroengineering. Kuzbass state agrarian university named after V.N. Poletkov (650056, Russia, Kemerovo, Kemerovo oblast-Kuzbass, tel.: 8(3842)734359, e-mail: sirbakovap@yandex.ru).

Berezhnov Nikolai N. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of agroengineering. Kuzbass state agrarian university named after V.N. Poletkov (650056, Russia, Kemerovo, Kemerovo oblast-Kuzbass, tel.: 8(3842)734359, e-mail: n.berezhnov@mail.ru).

УДК 621.892

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА В ТЕЧЕНИЕ МЕЖСЕРВИСНОГО ПРОБЕГА АВТОБУСОВ

А.А. Чубов, А.А. Копылов, Г.В. Павлюков, С.Н. Кривцов

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет
Иркутск, Россия

Аннотация. В статье исследованы изменения основных эксплуатационных свойств моторного масла *PETRO-CANADA* 15*W*-40, используемого в подконтрольных автобусах предприятия «Автоколонна 1880», при его наработке 4000, 8000 и 15000 км. Установлено, что применяемый на предприятии интервал плановой замены по достижении наработки в 15000 км вполне обоснован, и при этом показатели вязкости и плотности имеют тенденцию к снижению, лишь в некоторых случаях увеличиваясь. Эти обстоятельства требуют выяснения детальных причин, а также свидетельствует, что в некоторых случаях интервал замены может быть увеличен.

Ключевые слова: моторное масло, техническое обслуживание, диагностика, вязкость, плотность, наработка, старение моторного масла, автобус, ресурс моторного масла.

DYNAMICS OF CHANGES IN THE DENSITY AND VISCOSITY OF ENGINE OIL DURING THE SERVICE INTERVAL OF BUSES

A.A. Chubov, A.A. Kopylov, G.V. Pavlyukov, S.N. Krivtsov

FSBEI HE Irkutsk national research technical university
Irkutsk, Russia

Annotation. The article examines changes in the key performance properties of PETRO CANADA 15W 40 engine oil used in the buses under the control of the “Autokolonna 1880” enterprise, at operating distances of 4,000, 8,000 and 15,000 km. It has been established that the planned replacement interval used by the enterprise, which is applied upon reaching an operating distance of 15,000 km, is quite justified; at the same time, the viscosity and density indicators tend to decrease, increasing only in some cases. These circumstances require a detailed investigation of the underlying causes and also indicate that in some cases the replacement interval may be extended.

Key words: motor oil, maintenance, diagnostics, viscosity, density, operating time, motor oil aging, bus, motor oil service life.

В современных условиях эксплуатации автомобильного транспорта на предприятиях, возрастает значимость оптимизации процессов технического обслуживания и ремонта транспортных средств. Одним из ключевых аспектов является замена моторного масла, которая напрямую влияет на надёжность работы двигателя и продолжительность его ресурса.

Традиционные методы замены моторного масла основываются на регламентных сроках, установленных производителем автомобиля, что не всегда учитывает реальные условия эксплуатации. В результате могут возникать ситуации, когда замена масла выполняется слишком рано, что приводит к излишним

затратам, либо слишком поздно, что приводит к повышенному износу двигателя и снижению его надёжности.

Стремление к наиболее полному использованию ресурса моторных масел в современных высокофорсированных двигателях автомобилей наталкивается на противоречие, вызванное недостатком знаний о закономерностях изменения эксплуатационных свойств, а также о наиболее информативных и пригодных для измерения в условиях эксплуатации параметрах.

Исследования проводились на моторном масле *PETRO-CANADA HEAVY DUTY ENGINE OIL* 15*W*-40.

Был проведён масштабный сбор данных на предприятии «Автоколонна 1880». Всего собрано 32 образца моторного масла с автобусов, наработка которых составляет 15000 км, после предыдущей его замены. Эти пробы подверглись комплексному лабораторному анализу, в рамках которого оценивались ключевые химико-физические характеристики смазочных материалов, такие как вязкость, плотность и температура вспышки. Также в рамках эксперимента проведён сбор общих данных по автотранспортным средствам [3, 4].

На основании полученных результатов была проведена селекция техники. Для дальнейшего изучения динамики старения моторного масла были выбраны 11 автобусов, чьи образцы продемонстрировали наиболее показательные или, наоборот, аномальные результаты по сравнению с остальной группой. Список автобусов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – **Список автобусов для углубленного изучения**

№	Название / модель	Номер
1	*GOLDEN DRAGON XML* 6126	101
2	*GOLDEN DRAGON XML* 6126	103
3	*GOLDEN DRAGON XML* 6126	105
4	*HIGER KLQ*6128*LQ*	112
5	*GOLDEN DRAGON XML* 6126	116
6	*GOLDEN DRAGON XML* 6126	118
7	*YUTONG ZK*6122*H*	120
8	*YUTONG ZK*6938*HB*9	124
9	*GOLDEN DRAGON XML* 6127	703
10	*GOLDEN DRAGON XML* 6127	709
11	*GOLDEN DRAGON XML* 6127	719

В отношении этой выборки был организован второй этап наблюдения. За эксплуатацией этих автобусов установили периодический контроль. В процессе их дальнейший работы, у каждого из 11 автобусов последовательно отбирались образцы масла через 4000 км. и 8000 км. пробега, а финальный забор выполнялся при достижении регламентного интервала замены на отметке 15000 км, установленного на предприятии.

Отбор проб на первых двух этапах (4000 и 8000 км) осуществлялся через технологическое отверстие масляного щупа (рисунок 1). Для это использовалась специальная система, состоящая из медицинского шприца и удлинённой трубки. Трубка вводилась в направляющую масляного щупа до достижения зоны

рабочего объёма картера, после чего производился забор моторного масла путём создания разрежения в шприце.

Пробы масла с пробегом 15000 км были получены в ходе планового обслуживания, а именно при выполнении операции по замене моторного масла. В данном случае образцы отбирались непосредственно из масляного фильтра.

Такой подход к отбору проб позволил получить репрезентативные образцы моторного масла на разных стадиях его жизненного цикла в двигателе, что обеспечивает корректность последующего анализа изменения свойств смазочного материала в процессе эксплуатации.

Анализ графических данных, представленных на рисунке 2, показывает, что при наработке моторного масла до 4000 км наблюдается снижение его плотности, которое не выходит за границы поля допуска.

При достижении наработки в 8000 км у автобусов № 709, 719 и 105, эксплуатируемых с маслом в диапазоне от 4000 до 8000 км, регистрируется повышение плотности. Данная динамика может косвенно указывать на факт долива свежего моторного масла в двигатели указанных транспортных средств. Одновременно у автобусов № 116 и 703 плотность масла опускается ниже допустимого предела, что свидетельствует о возможном истощении пакета присадок, либо о попадании некоторого объёма топлива в моторное масло [10, 11].



Рисунок 1 – **Сбор образцов масла при помощи специализированной системы**

В интервале наработки до 15000 км у автобуса № 719 фиксируется критическое падение плотности значительно ниже нормируемого значения, что говорит о предельной деградации масла и необходимости его безотлагательной замены. В двигатели автобусов № 116, 703 и 118, напротив, было добавлено значительное количество масла: на это указывает рост плотности до величин, характерных для свежего масла или масла с наработкой до 4000 км.

На рисунке 3 представлено сравнение изменения плотности масел у двух автобусов, у которых наблюдается линейное снижение плотности масла по мере увеличения пробега. Значения при этом остаются в пределах установленного допуска, что свидетельствует о естественном ходе процесса старения масла. Таким

образом, применяемый на предприятии интервал плановой замены по достижении наработки в 15000 км вполне обоснован [1, 4, 5].

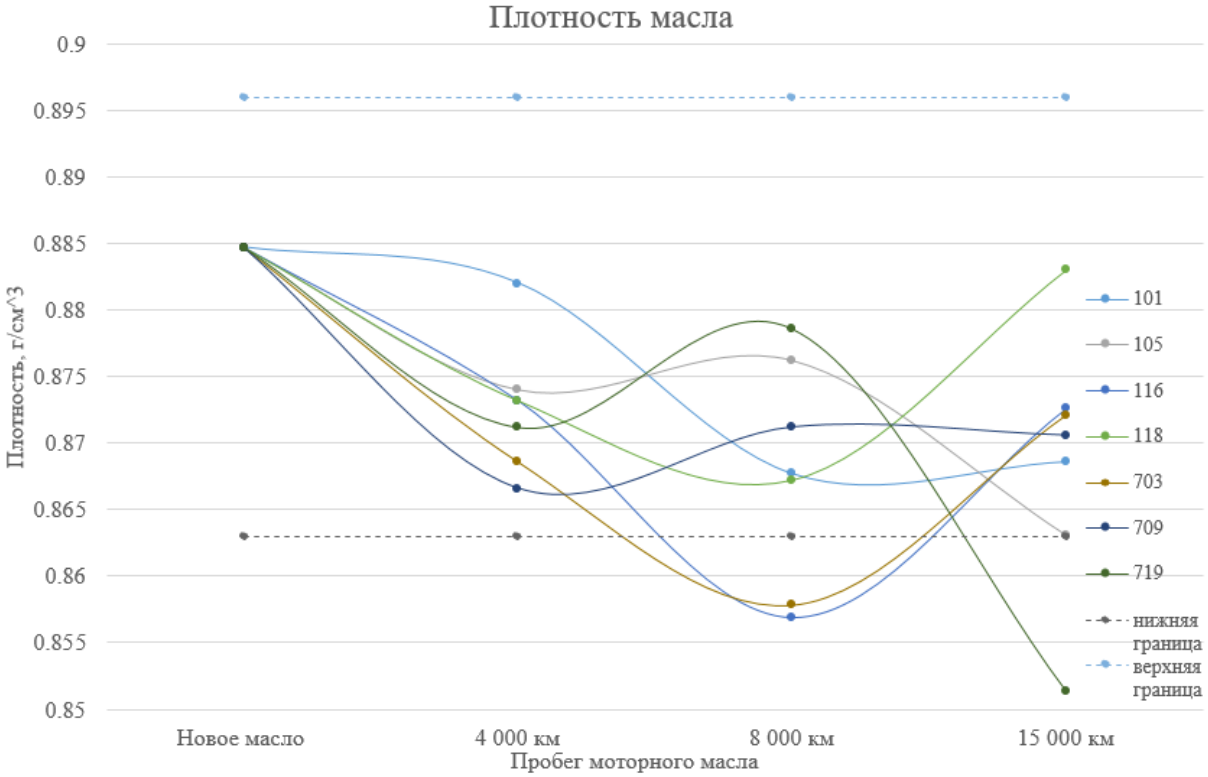


Рисунок 2 – **Диаграмма плотности моторного масла**

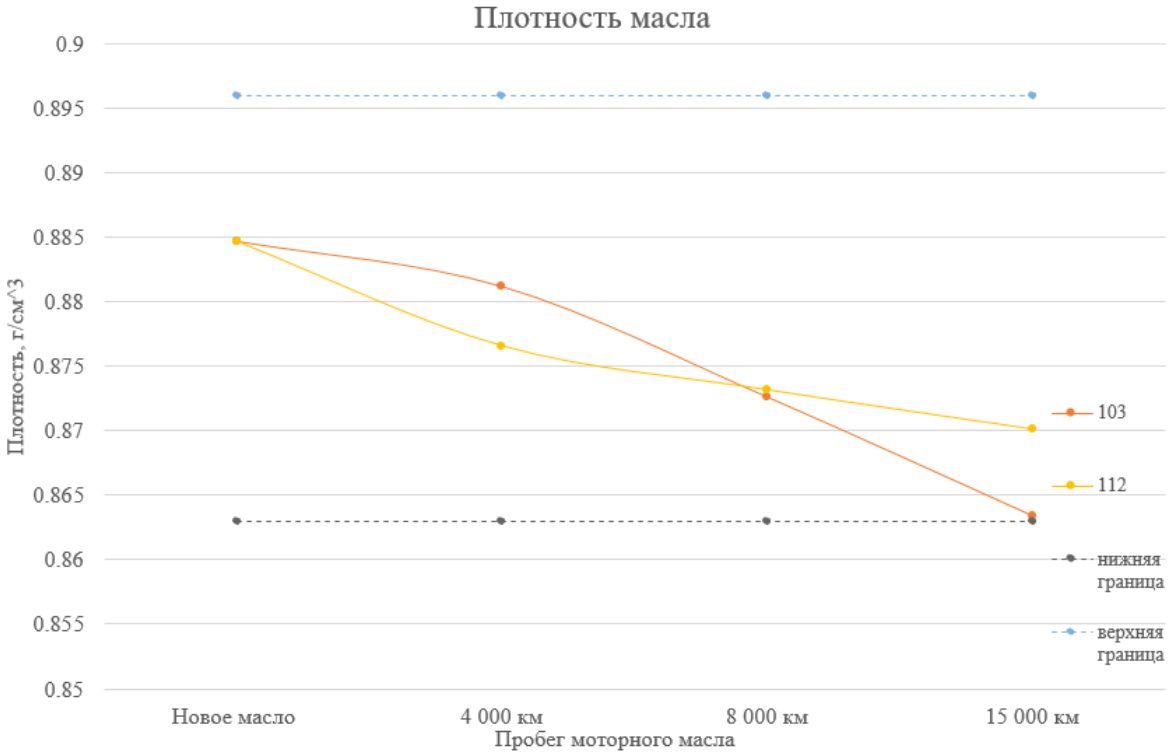


Рисунок 3 – **Диаграмма плотности моторного масла**

По результатам анализа диаграммы кинематической вязкости, измеренной при 40° С, для выборки автобусов установлена общая тенденция к монотонному снижению вязкости моторного масла в диапазоне от 0 до 15000 км. (рисунок 4).

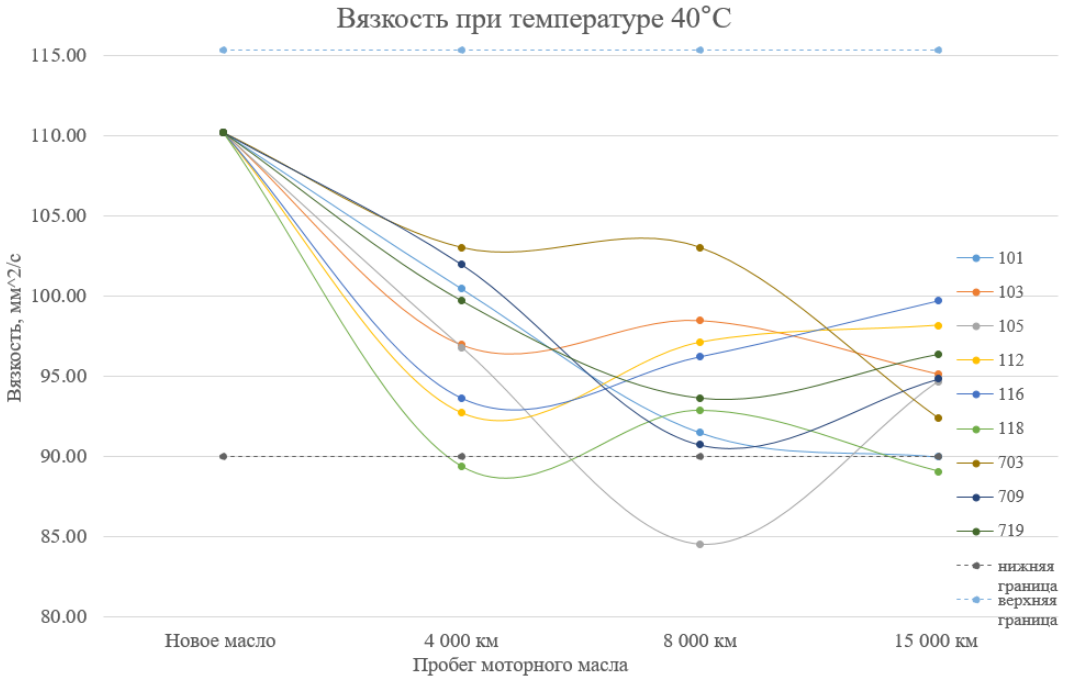


Рисунок 4 – **Диаграмма вязкости моторного масла при температуре 40° С**

При наработке 4000 км значения вязкости основной массы транспортных средств остаются в пределах поля допуска, однако у автобуса № 118 зафиксировано снижение параметра до нижнего нормативного предела. Данное отклонение может свидетельствовать о попадании топлива в моторное масло. Эксплуатация в таком состоянии сопряжена с риском разрушения смазочной плёнки, возрастания трения в сопряжённых деталях и потенциального развития задиров, что в конечном итоге способно привести к выходу двигателя из строя и необходимости проведения капитального ремонта.

В интервале наработки 8000 км вязкость моторного масла у ряда единиц техники приближается к критическому нижнему порогу, что требует безотлагательной замены масла. Одновременно у автобусов № 118, 116, 112, 103 и 703 наблюдается повышение вязкостных свойств, что расценивается как индикатор производившегося долива свежего моторного масла [6].

При достижении наработки 15000 км вязкостные характеристики по парку в целом стабилизируются в пределах допустимого диапазона, что указывает на удовлетворительное техническое состояние автобусов [9, 12].

Представленные на диаграмме данные демонстрируют корректную работу испытуемого моторного масла в условиях эксплуатации. Снижение вязкости при 100° С не выходит за рамки физико-химических норм, регламентированных действующими государственными и международными стандартами (рисунок 5.) [7, 8].

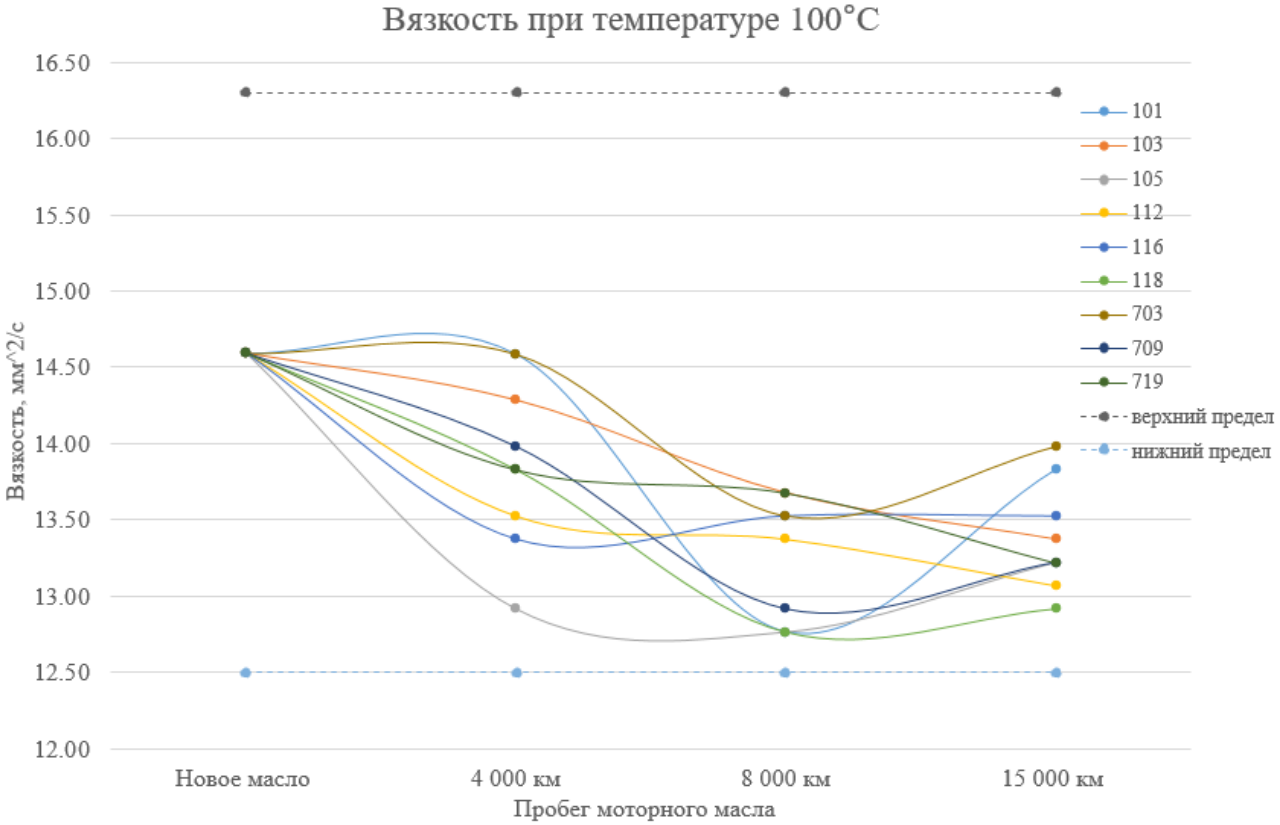


Рисунок 5 – **Диаграмма вязкости моторного масла при температуре 100° С**

Выявленные закономерности изменения эксплуатационных свойств моторных масел от пробега (наработки) автотранспортных средств позволяют заключить следующее:

1. В результате исследования проб масла, отобранных у однотипного парка автобусов через фиксированный интервал, установлено, что помимо естественной деградации и изменения свойств значительное влияние оказывает индивидуальное техническое состояние двигателей;

2. В зависимости от технического состояния, при фиксированном интервале замены плотность топлива может как оставаться практически неизменной, так и уменьшаться, либо увеличиваться в достаточно небольших пределах, что делает этот параметр для оценки малоинформативным без детального анализа причин, вызывающих его изменение;

3. Вязкость отработавших моторных масел с увеличением пробега имеет общую тенденцию к снижению, однако, при эксплуатации двигателей в достаточно тяжёлых условиях при повышенной запылённости, может увеличиваться.

Список литературы

1. *Васильева, Л.С.* Автомобильные эксплуатационные материалы. Учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1986. – 279 с.

2. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. Дата введения 01.07.2018.

3. ГОСТ 3900-2022. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. Дата введения 01.01.2023.

4. *Грушевский А.И., Устюгов П.А., Мальчиков С.В.* Автомобильные эксплуататционные материалы: Учеб. пособие. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. 136 с. ISBN 5-7636-0605-1.

5. *Гуреев А.А., Иванова Р.Я., Щеголев Н.В.* Автомобильные эксплуатационные материалы. Издательство «Транспорт», 1974, стр. 1-280.

6. *Кривцов, С.Н.* Причины прогара поршней дизельных двигателей, оснащенных аккумуляторной топливоподающей системой / *С.Н. Кривцов* // Грузовик. – 2024. – № 12. – С. 43-49. – DOI 10.36652/1684-1298-2024-12-43-49. – EDN YCOXDR.

7. *Кривцова, Т.И.* Изменение смазывающих свойств автомобильных моторных масел в течение межсервисного пробега / *Т.И. Кривцова, С.Н. Кривцов* // Транспорт Урала. – 2021. – № 4 (71). – С. 84-89. – DOI 10.20291/1815-9400-2021-4-84-89. – EDN DNSBEW.

8. *Пивоварчик, А.А.* Исследование влияния величины пробега легкового транспортного средства на плотность и температуру вспышки в открытом тигле моторных масел «Лукойл Люкс 5W-40» и «Нафтан Премьер 5W-40» / *А.А. Пивоварчик, А.К. Гавриленя, А.С. Корольков* // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки. – 2022. – Вып. 12. – С. 47-52.

9. *Пивоварчик, А.А.* Исследование кинематической вязкости полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / *А.А. Пивоварчик, А.К. Гавриленя, А.И. Сергей* // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки. – 2019. – Вып. 7. – С. 96–101.

10. *Савицкий, Б.П.* Автомобильное топливо и смазочные материалы: Справочник. – К. : Техника, 1979. – 149 с.

11. *Сафаров, Ж.А.* Исследование физико-химических свойств и химического состава отработанных моторных масел / *Ж.А. Сафаров, Р.Р. Хайитов* // Universum: технические науки. – 2021. – № 6-4(87). – С. 14-19. – DOI 10.32743/UniTech.2021.87.6.11898. – EDN SGBGVZ.

12. Эксплуатационные свойства отработавшего моторного масла автотранспортных средств при замене его по фиксированному регламенту / *Г.В. Павлюков, С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова* [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2026. – № 4 (166). – DOI 10.60797/IRJ.2026.166.80. – EDN NPRIES.

Сведения об авторах

Чубов Анатолий Александрович – аспирант 2 курса направления «Эксплуатация транспорта». Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83., тел.: 8 (914) 910-09-40, e-mail: ya.chubov2012@mail.ru).

Копылов Александр Александрович – аспирант 2 курса «Эксплуатация транспорта». Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83., тел.: 8 (995) 050-21-47, e-mail: sany_cool_147@mail.ru).

Павлюков Глеб Владимирович – магистрант 2 курса «Техническая эксплуатация автомобилей». Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83., тел.: 8 (902) 543-82-41, e-mail: 438241@bk.ru).

Кривцов Сергей Николаевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин, ИРНИТУ (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), тел.: +7(908)6619729, e-mail: krivtsovsn@ex.istu.edu.

Information about the authors

Chubov Anatoly A. – 2nd-year PhD student specializing in transport operations. Irkutsk national research technical university (83 Lermontova st., Irkutsk, 664074; tel.: +7 (914) 910-09-40; e-mail: ya.chubov2012@mail.ru).

Kopylov Alexander A. – 2nd-year PhD student specializing in transport operations. Irkutsk national research technical university (83 Lermontova st., Irkutsk, 664074; tel.: +7 (995) 050-21-47; e-mail: sany_cool_147@mail.ru).

Pavlyukov Gleb V. – 2nd-year master's student specializing in technical operation of automobiles. Irkutsk national research technical university (83 Lermontova st., Irkutsk, 664074; tel.: +7 (902) 543-82-41; e-mail: 438241@bk.ru).

Krivtsov Sergey N. – dctor of technical sciences, head of department of automotive transport, construction and road machinery, INRTU (83 Lermontova st., Irkutsk, 664074), tel.: +7(908)6619729, e-mail: krivtsovsn@ex.istu.edu

УДК 631.173

К РАСЧЁТУ ИЗНОСА ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ДВС В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОЙ СРЕДЫ

А.В. Шистеев, Д.Д. Паньков, М.К. Бураев

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассмотрены условия работы и методы определения износа подшипников скольжения в закрытых парах трения узлов сельскохозяйственной техники. Отмечено, что одной из основных причин потери работоспособности подшипников скольжения и пар трения в узлах транспортно-технологических и других машин является наличие абразивных частиц в зазорах между сопрягаемыми деталями. Воздействуя на поверхности деталей, эти частицы вызывают износ, величина которого линейно увеличивается с ростом нагрузки. Ужесточение режима работы усугубляется ещё и тем, что даже в закрытых парах трения машин, работающих в агрессивной среде, содержится не менее 2 % абразивных частиц размером 2-5 мкм. Увеличение вследствие износа зазоров в сопряжениях, приводит к потере точности, понижению КПД, понижению прочности, увеличению динамических нагрузок, повышению шума и выходу из строя подавляющего большинства машин и их деталей. Создание узлов с минимальными потерями на трение равносильно высвобождению огромных ресурсов рабочей силы и различных материальных затрат, в том числе ремонтных предприятий, которые в среднем по машиностроению составляют не менее 60-80 % основного производства.

Ключевые слова: абразивные частицы, износ, трение, смазка, детали, зазоры, расчёт, контактное взаимодействие.

CALCULATION OF SLIDING BEARING WEAR IN ABRASIVE ENVIRONMENTS

A.V. Shisteev, D.D. Pankov, M.K. Buraev

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. This article examines the operating conditions and methods for determining the wear of sliding bearings within enclosed friction pairs in agricultural machinery assemblies. It is noted that the presence of abrasive particles in the clearances between mating parts is a primary cause of performance loss in sliding bearings and friction pairs within transport, technological, and other machinery. By acting upon component surfaces, these particles induce wear, the magnitude of which increases linearly with the load. Operating conditions are further exacerbated by the fact that even within the enclosed friction pairs of machines operating in harsh environments, there is a content of at least 2 % abrasive particles ranging from 2 to 5 μm in size. Increased clearances resulting from wear lead to a loss of precision, reduced efficiency, diminished structural strength, increased dynamic

loads, higher noise levels, and the eventual failure of the vast majority of machines and their components. Developing assemblies with minimal friction losses is tantamount to freeing up vast labor resources and material assets-including those dedicated to repair facilities, which, on average across the machinery manufacturing sector, account for at least 60-80 % of primary production activity.

Key words: abrasive particles, wear, friction, lubrication, components, clearances, calculation, contact interaction.

Технологический прогресс, развитие которого отражается на общей конструкционной сложности транспортно-технологических машин, в последнем десятилетии, безусловно, изменил условия работы тракторов, автомобилей и другой спецтехники в сторону увеличения эксплуатационной нагрузки, в связи с чем, необходима разработка новых инструментов для исследования износа деталей их двигателей внутреннего сгорания. Главное внимание должно уделяться базисным деталям кривошипно-шатунных механизмов – подшипникам скольжения коленчатого вала и элементам, поскольку их износ в первую очередь отражается на работоспособности самого мотора.

Современные инструменты для исследования интенсивности износа вкладышей коленчатого вала должны предусматривать включение в исследования методов трибодиагностики (анализа состояния узла по вибрациям, анализу масла на содержание металлов), сложного компьютерного моделирования трибосистем, математические методы расчёта износа с учётом работы трибоузла в среде с дисперсионно растворёнными продуктами износа. В работе неоднократно подчеркивается, что в современной ситуации необходимо не просто констатировать факт износа, а прогнозировать его развитие, выявлять скрытые факторы (например, как микрогеометрия поверхности или локальные деформации, влияющие на толщину масляного слоя) и оптимизировать конструкцию.

С развитием технологий двигатели становятся мощнее, компактнее, а их рабочие режимы более интенсивными, например, по причине увеличенного давления в цилиндрах, использования систем типа «*Smart start-stop*», турбирования моторов. Соответственно, в связи с этими причинами, вкладыши коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания испытывают более серьёзные термомеханические нагрузки и выполняются на основе более износостойких сплавов, нанесения нанокомпозитных или твёрдосмазочных покрытий. Изучение износа помогает понять, как новые материалы и конструкции (например, триметаллические вкладыши с особым антифрикционным слоем) справляются с этими вызовами, и вовремя корректировать решения, чтобы не допустить задиров на деталях подшипника скольжения или проворачивания вкладыша. Кроме этого, исследования износа позволяют оценивать действительно ли новое покрытие снижает трение, как долго сохраняет свойства в реальных условиях эксплуатации машин и, параллельно, получать информацию о «Зелёной», экологической составляющей процесса в альтернативе поиска менее токсичных составов для антифрикционных слоёв подшипников скольжения. Физико-химические процессы работы присадок моторных масел также влияют на износ каждого вкладыша подшипнка скольжения коленчатого вала – производителями разрабатываются составы, которые целенаправленно снижают трение и защищают от износа в сложных условиях, здесь, изучение износа вкладышей помогает понять, как разные

типы масел работают в паре с конкретными материалами и конструкциями, и формировать рекомендации для эксплуатации.

Сопряжения двигателей транспортно-технологических при повышении рабочих скоростей и нагрузок, а также одновременном снижении удельной металлоёмкости деталей подвержены разным типам износа (таблица 1).

Таблица 1 – **Основные виды износов сопрягаемых деталей сельхозмашин**

Параметр	**Адгезионный износ (схватывание)**	**Усталостный износ (питтинг)**	**Абразивный износ**	**Коррозионный износ**
Визуальное проявление	Задиры, выкрашивание металла, налипание материала, сильный нагрев и изменение цвета	Мелкие раковины, оспины, выкрашивание на дорожках и телах качения, которые со временем сливаются в большие дефекты	Матовые поверхности, концентрические или хаотичные риски и царапины	Пятна ржавчины от красного до черного цвета, язвы, потускнение полированных поверхностей
Основная причина	Разрушение смазочной пленки при высоких нагрузках и низких скоростях, прямой контакт металла с металлом	Циклические контактные напряжения, превышающие предел усталостной выносливости материала. Естественный износ	Попадание в узел твердых частиц (пыль, песок, продукты износа) извне или изнутри системы смазки	Воздействие влаги, кислот, щелочей и других агрессивных сред при негерметичности уплотнений или ненадлежащем хранени
Характер развития	Очень быстрый, часто лавинообразный, приводящий к заклиниванию и катастрофическому разрушению	Постепенный, прогрессирующий. Начинается с подповерхностных трещин и заканчивается разрушением поверхности	Прогрессирующий. Скорость зависит от концентрации и твердости абразивных частиц	Может быть медленным (сплошная) или быстрым (местная, язвенная), особенно в агрессивных средах
Меры ликвидации	Правильный выбор смазки (вязкость, противозадирные присадки), соблюдение скоростного режима, исключение перегрузок	Правильный подбор подшипника по грузоподъемности, исключение ударных нагрузок и перегрузок, качественный материал подшипника	Использование эффективных уплотнений, фильтрация смазочного материала, чистота при монтаже	Защита от попадания влаги (герметичные уплотнения), использование консистентных смазок с антикоррозионными присадками Защита от попадания влаги (герметичные уплотнения), использование консистентных смазок с антикоррозионными присадками

Износ деталей машин – это результат процесса постепенного разрушения и потери материала рабочих поверхностей деталей машин из-за трения и механического воздействия [9, 10]. Процесс приводит к изменению размеров, формы, детали, что в итоге снижает её работоспособность и ресурс. Триботехнические пары базисных деталей двигателя внутреннего сгорания контактируют в среде смазки (моторного масла), что приводит к накоплению материалов износа в промежуточном смазочном слое.

В зависимости от соотношений внешней нагрузки, концентрации и прочности, находящихся в зазоре абразивных частиц, с одной стороны и твёрдости изнашиваемых материалов в работах ряда авторов – с другой, выделяют три

случая абразивного износа трущихся сопряжений [1, 4, 5, 11]:

- Величина зазора соразмерна с начальным размером абразивных частиц, а износ линейно растёт с повышением нагрузки;

- Величина зазора больше абразивных частиц, дробящихся при определенной глубине внедрения в детали, до величины $d_{др}$. В этом случае линейная зависимость износа от нагрузки переходит в функцию с малым по модулю показателем степени (случай применим для подшипников скольжения);

- Величина зазора соразмерна с размерами частиц, претерпевших большое количество дроблений до величины соразмерной с микронеровностями поверхности деталей и толщиной масляной пленки. При этом частицы практически полностью «Перемалываются» деталями пары трения, что характерно для сопряжений с очень высокой контактной нагрузкой.

Износ деталей увеличивается с повышением концентрации абразивных частиц (ε), их размера (R) и прочности σ, с ростом давления в контакте ($\sigma_к$), частоты вращения вала (n) и зазора в сопряжении (Δ). Износ уменьшается с повышением твёрдости (H) как вала, так и втулки, а также с повышением их пластичности (б) и коэффициента усталости (t).

Для количественной оценки износа деталей сопряжения «Вал-вкладыш» двигателя трактора *Buhler Versatile* 2375 были установлены исходные данные, определяющие условия работы этих деталей [1, 2, 3]:

1. Концентрация абразива ε = 5 %;
2. Размер абразивных частиц R = 0,040 мм;
3. Прочности абразивных частиц σ = 40 кгс/мм^2;
4. Твёрдость вкладыша при износе H_1 = 98,06 кгс/мм^2;
5. Твёрдость коленвала H_2 = 618,06 кгс/мм^2;
6. Коэффициент пластичности вала δ_1 =2 %;
7. Коэффициент пластичности вкладыша δ_2 = 4 %;
8. Коэффициента усталости t = 0,33;
9. Диаметр вала d = 50 мм;
10. Величина зазора в сопряжении Δ = 0,025 мм;
11. давление в контакте $\sigma_k = 2 \cdot 10^{-2} \frac{2 \cdot 10^{-2}}{\frac{1}{2}\pi \cdot 25 \cdot 2{,}4} \sigma_k$ кгс/мм^2.

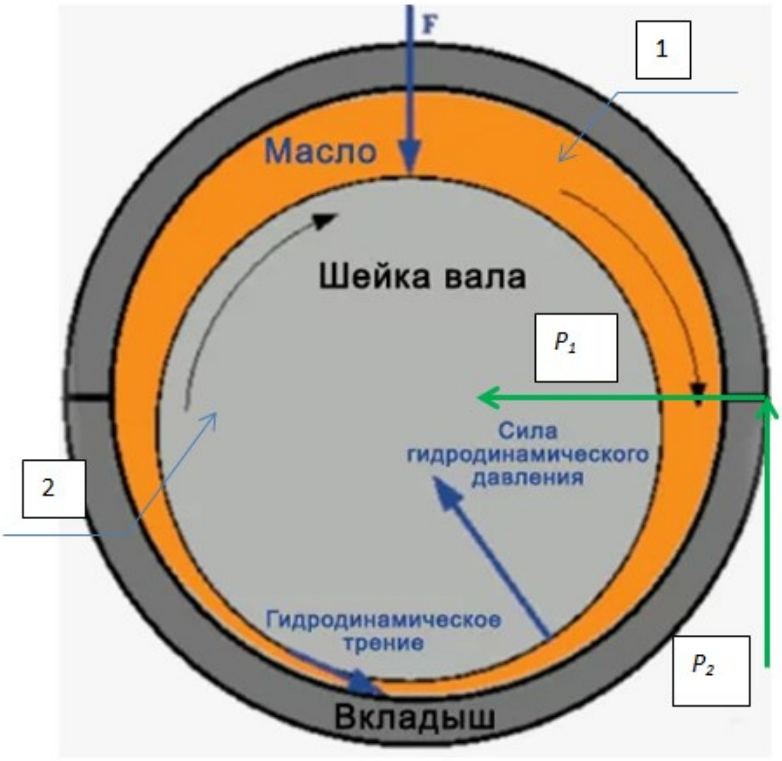
Учитывая, что износ коленчатого вала по толщине соизмерим с износом его по ширине, считаем, что при проверке на стенде, а равно и в производственных условиях, вал вращается относительно вкладыша при оборотах равных 950 об/мин и с параметрами радиальной и осевой нагрузок P_1 и P_2 (рисунок 1).

На рисунке показан подшипник скольжения и коленчатый вал транспортно-технологической машины, вращающийся по часовой стрелке. Вращение вала при увеличенном зазоре приводит к перекачиванию моторного масла, протекающего вокруг подшипника в направлении вращения.

Обязательными условиями являются следующие аспекты: вал проскальзывает относительно вкладыша, при этом вкладыш не перемещается по торцу, поскольку имеет зацепление с телом шатуна, при этом номинальные диаметры крышек шатуна и вкладыша по образующей имеют одинаковый размер.

Скорость износа деталей определяется по выражениям:

$$V_{u1} = a^x \frac{100AK_1}{M_1};$$
$$V_{u2} = a^x \frac{100AK_2}{M_2}.$$



1 – Тело вкладыша; 2 – Контртело вала.

Рисунок 1 – **Обоснование влияние давления масла на параметры износа коленчатого вала**

Практически одинакова и микрогеометрия обеих деталей (вкладыша и шатуна) после эксплуатационной или обкаточной нагрузки, когда происходит приработка сопряжения при переменной нагрузке, в связи с чем величина K будет для них однозначна, то есть одна и та же [6, 7, 8].

$$K_{1,2} = \frac{\pi \cdot d(2 \cdot d\Delta^{\frac{1}{2}} + \Delta^{\frac{3}{2}})\sqrt{1+\frac{\Delta}{d}\cdot\sigma_k \cdot \Pi_1}}{4\sqrt{2}\cdot l \cdot \pi \cdot d} = \frac{(2\cdot 50\cdot 0{,}173 + 0{,}519)\cdot 1{,}0003 \cdot 2{,}123\cdot 10^{-4}\cdot 1000}{4\cdot 1.41\cdot 2{,}4} = 0{,}2795.$$

Определим значения моментов M_1 для вкладыша и M_2 для коленчатого вала, а также величину A:

$$M_1 = \delta_1^t \frac{H_1^{1,5}\cdot H_2^2}{H_1+H_2} = 2^{0{,}33} \cdot \frac{100^{1,5}\cdot 600^2}{100+600} = 646457;$$
$$M_2 = \delta_1^t \frac{H_1^1\cdot H_2^{2,5}}{H_1+H_2} = 4^{0{,}33} \cdot \frac{100\cdot 600^{2,5}}{100+600} = 1990378;$$
$$A = \varepsilon^{\frac{2}{3}} \cdot R^{0,5} \cdot \sigma^{2,5-x} = 5^{\frac{2}{3}} \cdot 0.04^{0,5} \cdot 40^{2,5-1} = 147{,}74.$$

Далее определим скорость изнашивания коленчатого вала (V_{u1}) и вкладыша (V_{u2}) соответственно:

$$V_{u1} = a^x \frac{100AK_1}{M_1} = a^x \cdot \frac{100\cdot 147{,}741\cdot 0{,}2795}{646457} = a^x \cdot 0{,}00638,$$
$$V_{u2} = a^x \frac{100AK_2}{M_2} = a^x \cdot \frac{100\cdot 147{,}741\cdot 0{,}2795}{1990378} = a^x \cdot 0{,}00207.$$

При $a = 15$ и $x = 1$ скорости изнашивания будут $V_{u1} = 0{,}0957$ мкм/ч и $V_{u2} = 0{,}0310$ мкм/ч.

При наработке трактора $T = 5000$ мото-ч накопленный износ ($U_{пр}$) будет соответственно:

Для вкладыша $U_{\text{пр}} = T \cdot V_{u1} = 5000 \cdot 0{,}0957 = 0{,}478$ мм;

Для вала $U_{\text{пр}} = \text{Т} \cdot V_{u2} = 5000 \cdot 0{,}0310 = 0{,}155$ мм.

Заключение. Произведён теоретический анализ и предложены формулы для расчёта износа деталей подшипников скольжения типа «Вал – Вкладыш – Шатун». Величина износа является функцией геометрических параметров сопряжения, пути трения и условий работы и позволяет прогнозировать ресурс сопряжения в зависимости от условий его работы.

Значения вычисленных износов деталей с большой точностью совпадают со среднестатистическими значениями износов, имеющих место в эксплуатационных условиях, что свидетельствует о правильности принятых формул для теоретических расчётов. Износ вкладыша, согласно кинематике при оборотах $n = 950$ об/мин и свойствах вала (*HB* 618-620), с учётом возможных неточностей расчёта с вероятностью 0,95 соответственно составит: вкладыша $U_{\text{пр}} = 0{,}370$ мм, коленчатого вала по диаметру $U_{\text{пр}} = 0{,}150$ мм, что также с большой точностью совпадает со значениями износов этих деталей в производственных условиях, на двигателе *Cummins QSM*-11 трактора *Buhler Versatile* 2375.

Таким образом, изучение износа вкладышей – это не просто «Реакция на поломку», а активный драйвер развития всей отрасли, связывающий фундаментальные исследования (в области трибологии, материаловедения) с реальными инженерными задачами и технологическими трендами.

Список литературы

1. *Аносова, А.И.* Проблемы агротехсервиса в условиях Иркутской области / *Аносова А.И., Бураев М.К., Шистеев А.В., Бураева Г.М., Тронц А.С.* // В сборнике: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Материалы X международной научно-практической конференции. Молодежный, 2021. С. 65-66.

2. *Анурьев, В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / *В.И. Анурьев* под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001 – Т. 2 – 912 с.

3. *Гусев, А.А.* К обоснованию технического сервиса машинно-тракторного парка крестьянско-фермерских хозяйств / *Гусев А.А., Бураев М.К., Шистеев А.В.* // Вестник КрасГАУ. 2016. № 8 (119). С. 110-114.

4. *Гуревич, Ю.Е.* Детали машин и основы конструирования. Детали передач, соединения деталей машин : учеб. для вузов / *Ю.Е. Гуревич, М.Г. Косов, А.Г. Схиртладзе* под общ. ред. Ю. Е. Гуревича. – Старый Оскол: ТНТ, 2019 – 259 с.

5. *Леванов, И.Г.* Методика расчёта ресурса подшипников скольжения на ранних этапах проектирования поршневых и роторных машин / *И.Г. Леванов, Е.А. Задорожная, Д.Н. Никитин* // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 5-21. DOI: 10.14529/engin210301

6. Подшипники скольжения и их расчет : учеб.-метод. пособие / *Н.В. Иноземцева, С.И. Прач* ; МО респ. Беларусь, Гомельский ГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023 – 74 с.

7. *Соломашкин, А.А.* Разработка системы допусков сопряжений деталей самоходных сельскохозяйственных машин с различной скоростью изнашивания при ресурсном диагностировании : автореф. дисс. … канд. техн. наук : 05.20.03 / *Алексей Алексеевич Соломашкин*. –

ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ». – 2022. – 287 с.

8. *Сорокин, С.В.* Модель изнашивания подвижных соединений, работающих в условиях смешанной смазки / *С.В. Сорокин* // Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей обработки и виброволновых технологий : сборник трудов научного семинара, посвященного памяти заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, почётного профессора ДГТУ А.П. Бабичева, Ростов-на-Дону, 28 февраля 2019 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019. – С. 136-139. – EDN QYQRAH.

9. *Хруничева, Т.В.* Детали машин: типовые расчеты на прочность / *Т.В. Хруничева*. – М. : Форум ; Инфа-М, 2015 – 222 с.

10. *Шистеев, А.В.* Повышение ремонтной технологичности сельскохозяйственных тракторов применением сменно-обменных элементов / *Шистеев А.В., Бураев М.К.* // В сборнике: Экологическая безопасность и перспективы развития аграрного производства Евразии. Материалы научно-практической конференции, посвященной 60-летию ИРГСХА. 2013. С. 65-68.

11. To clarify the standards of spare parts for technical service of autotractors in zone conditions. *Buraev M., Shisteev A., Zhabin A., Anosova A., Ilyin P*. E3S Web of Conferences. 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, Interagromash 2020. EDP Sciences, 2020. С. 05001.

Сведения об авторах

Шистеев Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(3952)237431, e-mail: drive-er@yandex.ru).

Паньков Дмитрий Демьянович – аспирант кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(3952)237431, e-mail: drive-er@yandex.ru).

Бураев Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(3952)237431, e-mail: buraev@mail.ru).

Information about the authors

Shisteev Alexey V. – candidate of technical sciences, professor of the department «Technical service and engineering disciplines». Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 83952237431, e-mail: drive-er@yandex.ru).

Pankov Dmitry D. – graduate student of the department «Technical service and engineering disciplines». Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 83952237431, e-mail: drive-er@yandex.ru).

Buraev Mikhail K. – doctor of technical sciences, professor of the department «Technical service and engineering disciplines». Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 83952237431, e-mail: buraev@mail.ru).

УДК 637.1.03:004.77

ЦИФРОВАЯ ЦЕПОЧКА ОТ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА ДО «ЧЕСТНОГО ЗНАКА»

Ю.А. Алексеева, И.В. Козуб, М.А. Алексеева

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматривается сквозная цифровая цепочка производства молочной продукции: от современных технологий переработки и интеграции маркировки «Честный знак» на конвейере до разрешительного режима на кассовых аппаратах, что полностью соответствует актуальным трендам развития рынка [7]. Проанализированы результаты внедрения системы, позволившей пресечь свыше 602 млн. продаж нарушающей оборот продукции. Особое внимание уделено механизмам блокировки просроченных и нелегальных товаров, а также использованию данных системы Роспотребнадзором для риск-профилирования участников рынка.

Ключевые слова: молочная продукция, технология переработки сельскохозяйственной продкуции, маркировка «Честный знак».

A DIGITAL CHAIN SPANNING FROM MODERN MILK PROCESSING TECHNOLOGIES TO THE "CHESTNY ZNAK" SYSTEM

Y.A. Alekseeva, I.V. Kozub, M.A. Alekseeva

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines the end-to-end digital chain of dairy production: from modern processing technologies and integration of the “Chesny Znak” marking on the conveyor belt to the licensing regime at cash registers [7]. The results of the implementation of the system, which made it possible to stop over 602 million sales of products that violate the turnover of goods, are analyzed. Particular attention is paid to the mechanisms for blocking expired and illegal goods, as well as the use of system data by Rospotrebnadzor for risk profiling of market participants.

Key words: dairy products, agricultural processing technology, labeling “Chesny Znak”.

Молочная отрасль является одним из наиболее технологически сложных и социально значимых сегментов агропромышленного комплекса [14]. Обеспечение безопасности и подлинности молочной продукции требует комплексного подхода, который сегодня опирается на два неразрывных этапа контроля, что подтверждается методами системного моделирования экономических процессов [10]. Первый этап заключается в физико-технологическом контроле производства, глубокой переработки и упаковки, которые гарантируют безопасность продукта [15]. Второй этап – цифровой, система прослеживаемости «Честный знак», обеспечивающая юридическую чистоту и легальность оборота [8]. Только контроль этих двух этапов позволяет говорить о формировании по-настоящему прозрачного рынка. По данным пресс-службы Роспотребнадзора, за время

существования разрешительного режима на кассах удалось пресечь свыше 602 миллионов продаж молочной продукции с нарушениями [5]. Эта колоссальная цифра стала возможной благодаря тому, что продукт, созданный на высокотехнологичных заводах, был корректно введён в цифровой оборот, что позволило системе сработать как безупречный фильтр в момент финальной продажи, согласно аналитическим отчётам оператора системы [3].

Жизненный цикл маркированной молочной продукции начинается задолго до нанесения кода *Data Matrix* представлен на рисунке 1. Современное молочное производство – это непрерывный высокотехнологичный процесс, начинающийся с получения качественного сырья, на которое могут влиять различные технологические стресс-факторы на уровне фермы [13]. Полученное от ферм сырое молоко проходит строгий входной контроль, после чего поступает на линии переработки, что является основой управления качеством и безопасностью [6].

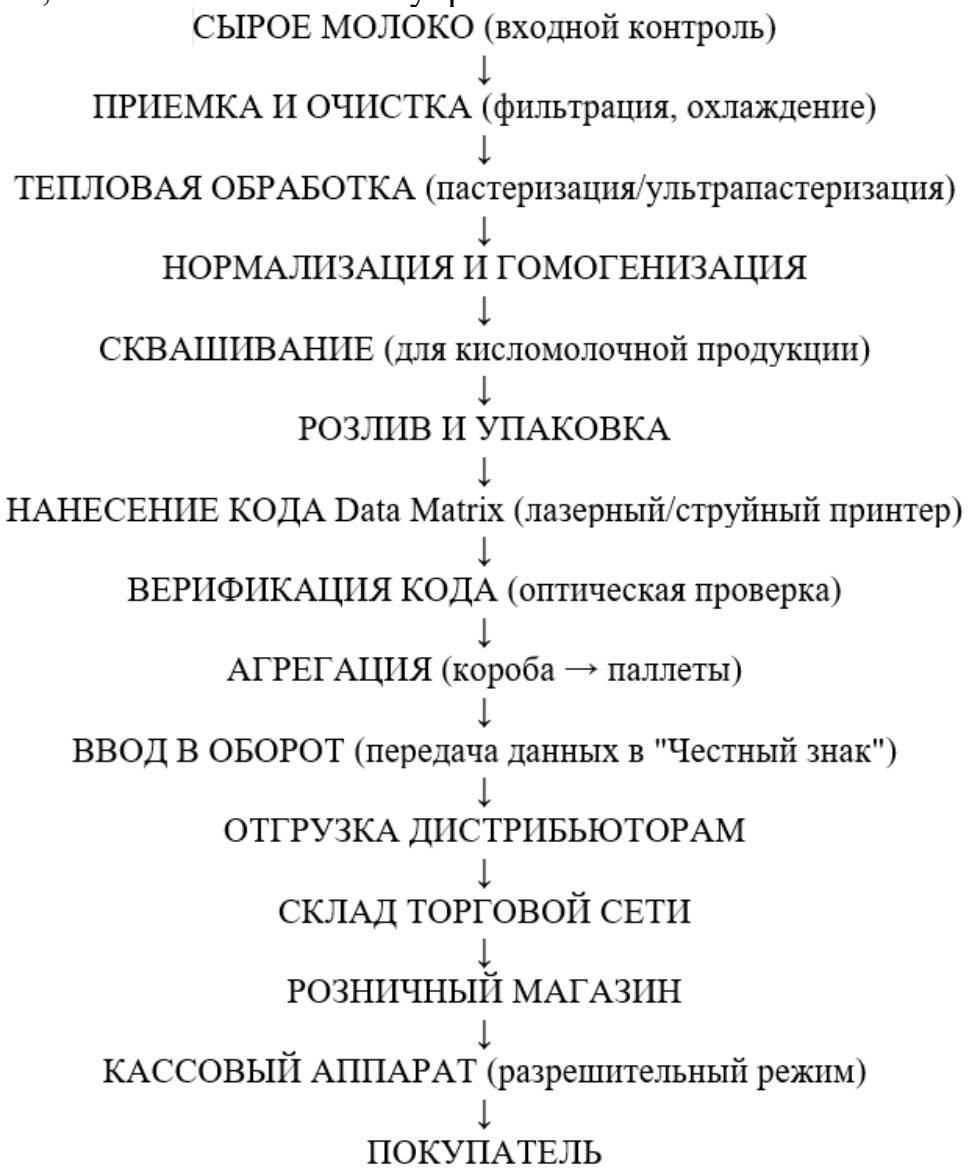


Рисунок 1 – **Технологическая схема производства и маркировки молочной продукции**

Технологический цикл включает в себя сепарирование, нормализацию по жирности, пастеризацию или ультрапастеризацию, гомогенизацию и сквашивание (для кисломолочной группы). Ключевую роль здесь играют автоматизированные системы *CIP*-мойки, обеспечивающие стерильность трубопроводов, и закрытые циклы розлива в асептической упаковке, где высокий уровень использования машин и напрямую влияет на общую эффективность переработки [15]. Именно на этапе переработки закладывается физическое качество продукта, включая аспекты глубокой переработки сельскохозяйственного сырья [131]. Однако с точки зрения государственного контроля, продукт становится объектом внимания тогда, когда он переходит в стадию товарной упаковки, как это регламентировано нормативными актами [2].

Современные линии розлива и упаковки работают на скоростях до 10000-20000 единиц продукции в час. Такая высокая производительность диктует жёсткие требования к следующему этапу – интеграции систем маркировки непосредственно в производственный поток [4].

Процесс получения продукции и её последующая отправка в торговые сети невозможны без этапа цифрового кодирования. Нанесение маркировки «Честный знак» на молочную продукцию осуществляется непосредственно на конвейере с использованием высокоскоростных лазерных, струйных или термотрансферных принтеров [8].

Код *Data Matrix* наносится на каждую единицу упаковки (бутылку, пачку, стаканчик, крышку). Но просто напечатать код недостаточно. Технологический процесс на заводе обязательно включает этап верификации: специальные оптические камеры, встроенные в линию, в режиме реального времени считывают и проверяют качество печати каждого кода. Если код повреждён, не читается или имеет дефекты, автоматическая система отбраковки физически удаляет такую единицу продукции с конвейера, обеспечивая технологическую надёжность процесса [3].

После успешного нанесения кода на единицу продукции происходит её агрегация в транспортную и групповую упаковку (короба, паллеты). Это критически важный технологический процесс, при котором система управления производством (*MES*) связывает коды отдельных бутылочек с кодом общей паллеты. Именно в таком виде, уже полностью готовым к отгрузке и обладающим «Цифровым паспортом», продукт покидает стены завода и отправляется в логистическую цепочку от производства до потребителя [14].

После отгрузки с завода производитель передаёт в систему «Честный знак» документы о вводе продукции в оборот строгом соответствии с установленными правилами [2]. С этого момента физический продукт и его цифровой двойник начинают синхронное движение по цепочке поставок от завода к дистрибьютору, затем на складские хабы торговых сетей и, наконец, в розничные магазины, что регулируется законодательством о торговой деятельности [1].

На каждом этапе перехода права собственности стороны обмениваются электронными документами (УПД – универсальные передаточные документы) через операторов электронного документооборота (ЭДО). Система «Честный

знак» в режиме реального времени фиксирует перемещение каждой единицы товара. Это исключает возможность подмены продукции на этапе транспортировки и гарантирует, что до полки магазина доходит именно тот продукт, который был произведён и промаркирован на заводе, что является частью современных цифровых экосистем контроля качества [9].

Финальной и самой важной точкой контроля становится кассовый узел в розничном магазине. Именно здесь внедрение разрешительного режима кардинально изменило правила в сфере государственного регулирования торговой деятельности [1]. Если ранее маркировка лишь фиксировала факт продажи, то теперь система «Честный знак» работает как активный цифровой фильтр прямо на кассе.

В момент сканирования кода *Data Matrix* кассовое программное обеспечение отправляет запрос в систему. За доли секунды проверяется статус товара. Если система выявляет несоответствие, пробитие чека блокируется физически. Покупатель не сможет приобрести товар, который не соответствует установленным требованиям, что надёжно фиксируется в официальной статистике [5].

Статистика Роспотребнадзора детально иллюстрирует, какие именно барьеры система преградила на пути некачественного или нелегального товара. За время работы разрешительного режима было предотвращено свыше 602 млн. продаж с нарушениями [5]. Структура этих пресечений показывает «Критические точки» рынка:

1. Просроченная продукция 357,4 млн. случаев. Это абсолютный лидер в структуре блокировок. Разрешительный режим жёстко привязан к сроку годности, указанному при вводе товара в оборот на заводе-производителе, согласно правилам маркировки [2]. Как только срок истекает, цифровой двойник товара блокируется, и касса не позволит его продать. Это колоссальный вклад в защиту здоровья нации, исключающий человеческий фактор и недобросовестность ритейлеров, которые ранее могли перебивать даты, что отмечается в исследованиях систем качества торговых сетей [9];

2. Повторные продажи 103,2 млн. случаев. Система пресекла попытки мошеннических схем, при которых один и тот же код пытались использовать многократно. Криптографическая защита гарантирует, что после первой продажи статус кода меняется на «Выбыл», и повторное сканирование невозможно [3];

3. Товары с некорректным кодом маркировки 79,2 млн и 3 млн случаев. Блокировка продукции с поврежденными, поддельными или технически некорректными кодами. Это отсекает от рынка суррогатную продукцию, произведенную в подпольных цехах без соблюдения технологий переработки сырья [11];

4. Продукция, не введённая в оборот 55,2 млн. случаев. Товар, который физически присутствует на полке, но по документам не прошёл легализацию через систему. Это предотвращает реализацию контрафакта или товара, произведённого с нарушением технологических регламентов и не прошедшего заводской контроль качества [16];

5. Товары, заблокированные госорганами 4,1 млн. случаев. Прямой результат контрольно-надзорной деятельности. Если Роспотребнадзор выявляет

опасную партию (например, с патогенами или фальсификатом), она отзывается и блокируется в системе. Разрешительный режим гарантирует, что недобросовестный продавец не сможет скрыть факт отзыва и продать опасный товар, что предотвращается механизмами оперативного отзыва [5].

Информация, проходящая через систему на всех этапах от объёма произведённой на заводе продукции до фактов блокировок на кассах, не исчезает в цифровом пространстве. Данные системы активно используются Роспотребнадзором для риск-профилирования производителей и ритейлеров [5].

Информация о фактических объёмах производства, реальном ассортименте и точной географии поставок помогает ведомству видеть объективную картину рынка. Алгоритмы анализируют расхождения: если завод произвёл один объём товара, а в рознице было пробито совершенно иное количество, или если товар, произведённый в одном регионе, аномально часто блокируется на кассах в другом, система автоматически присваивает участнику рынка высокий риск на основе математических методов моделирования [10]. Это позволяет Роспотребнадзору точнее планировать контрольные мероприятия, направляя инспекторов именно туда, где вероятность технологических или юридических нарушений, влияющих на производственную и финансовую устойчивость, максимальна [12].

Путь молочной продукции от фермы до потребителя сегодня полностью оцифрован. Современные технологии производства и переработки гарантируют физическую безопасность продукта [15], а система «Честный знак» обеспечивает его юридическую прозрачность [8].

Цифра в 602 миллиона пресечённых нарушений на кассах – это не просто статистика. Это доказательство того, что сквозная прослеживаемость работает, как подтверждают данные оператора системы [3]. Продукт, произведённый, промаркированный и отправленный в оборот по всем правилам, беспрепятственно доходит до покупателя. В то же время, любая попытка обмануть систему на этапе производства, логистики или продажи пресекается на кассовом узле что отражено в статистике пресечений [5]. Разрешительный режим стал финальным, но самым мощным щитом потребителя, доказавшим, что цифровая трансформация молочной отрасли состоялась и приносит реальные результаты, что полностью соответствует актуальным трендам развития рынка [7].

Список литературы

1. Федеральный закон от 28.12.2009 № 381-ФЗ «Об основах государственного регулирования торговой деятельности в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru (дата обращения: 24.08.2026).

2. Постановление Правительства РФ от 14.12.2018 № 2099 «Об утверждении Правил маркировки молочной продукции средствами идентификации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru (дата обращения: 24.08.2026).

3. Аналитические отчеты Оператора системы маркировки средств идентификации (ЦРПТ / «Честный знак») по итогам внедрения разрешительного режима в сегменте молочной продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://честныйзнак.рф (дата обращения: 24.08.2026).

4. Материалы Национального союза производителей молока («Союзмолоко») по технологической интеграции процессов переработки, упаковки и маркировки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://soyuzmoloko.com (дата обращения: 24.08.2026).

5. Официальные данные пресс-службы Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) о результатах функционирования разрешительного режима маркировки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rospotrebnadzor.ru (дата обращения: 24.08.2026).

6. *Алексеева, М.А.* Управление безопасностью и качеством молока / *М.А. Алексеева*, *Д.М. Климова* // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области : Материалы очно-заочной научно-практической конференции посвященной Дню Российской науки, п. Молодежный, 09 февраля 2023 года. Том II. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 9-10. – EDN TVLUPJ.

7. *Алексеева, Ю.А.* Актуальные тренды развития рынка молочной продукции России / *Ю.А. Алексеева* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы XV международной научно-практической конференции, п. Молодежный, 23-24 апреля 2026 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 337-343. – EDN SJYGQU.

8. *Алексеева, Ю.А.* Маркировка молочной продукции - Честный знак / *Ю.А. Алексеева* // Климат, экология и сельское хозяйство Евразии : Материалы XII международной научно-практической конференции, п. Молодежный, 27-28 апреля 2023 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 243-248. – EDN GGABAP.

9. *Алексеева, Ю.А.* Система качества и пищевой безопасности X5 Group: от шкалы рисков до цифровой экосистемы / *Ю.А. Алексеева* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы XV международной научно-практической конференции, п. Молодежный, 23-24 апреля 2026 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 344-350. – EDN ADLFNB.

10. *Бережная, Е.В.* Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособие / Е.*В. Бережная*, *В.П. Бережной*. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Финансы и статистика, 2005. – 432 с.

11. *Бегеулов, М.Ш.* Применение продуктов переработки растительного сырья в хлебопечении / *Бегеулов, М.Ш.*, *Сычёва Е.О.* // Хранение и переработка сельхоз сырья. – 2015. – № 10. – С. 47-51.

12. *Гаврилов, Л.М.* Анализ специализации и финансовой устойчивости ак «Урдо-Ага» в контексте животноводческого производства / *Л.М. Гаврилова*, *Н.В. Шнаркина*, *А.Ю. Загузина* [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2025. – № 4 (83). – С. 267-271. – DOI 10.24412/1992-2582-2025-4-267-271. – EDN FIMHDP.

13. Молочная продуктивность голштинских коров при возникновении технологических стресс-факторов / *Т.А. Хорошайло*, *И.В. Сердюченко*, *Н.А. Елисеенко* [и др.] // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2 (52). – С. 77-82. – EDN PTAPHG.

14. *Попова, И.В.* Ключи к успеху в молочной промышленности: от производства до потребителя / *И.В. Попова*, *Л.М. Гаврилова*, *Т.А. Хорошайло* // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2025. – № 1 (80). – С. 185-189. – EDN QQMFQQ.

15. *Хорошайло, Т.А.* Модернизация молочно-товарных ферм с использованием инновационного оборудования / *Т.А. Хорошайло*, *А.Р. Пудченко*, *Ю.А. Алексеева* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (105). – С. 308-310. – EDN XGOHQB.

16. *Хорошайло, Т.А.* Повышение продуктивности коров с использованием программы управления / *Т.А. Хорошайло*, *А.А. Гетман*, *Ю.А. Алексеева* // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (71). – С. 207-212. – EDN DHDAXM.

Сведения об авторах

Алексеева Юлия Анатольевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии и технологии производства сельскохозяйственной продукции, (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный), тел.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru.

Козуб Иван Владимирович – студент 3 курса факультета биотехнологии и ветеринарной медицины (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный), тел.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru.

Алексеева Мария Александровна – студентка 4 курса факультета биотехнологии и ветеринарной медицины (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный), тел.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru.

Information about the authors

Alekseeva Yulia A. – candidate of agricultural sciences, associate professor at the department of animal science and agricultural production technology (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru).

Kozub Ivan V. – 3 rd year student of the Faculty of Biotechnology and veterinary medicine. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru).

Alekseeva Maria A. – 4 rd year student of the faculty of biotechnology and veterinary medicine. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru).

УДК 637.334.34

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА КАЧОТТА С ЛИСИЧКАМИ

А.А. Моисеева, Ю.А. Алексеева

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Особое значение для развития сыроделия имеют традиционные итальянские сыры. Одним из ярких представителей итальянской сырной культуры является качотта (*Caciotta*). Данное название объединяет группу преимущественно молодых сыров, производство которых исторически развивалось в различных регионах Италии. Качотту изготавливают из коровьего, овечьего, козьего или смешанного молока. В зависимости от вида сырья и особенностей технологического процесса готовый продукт может обладать различными характеристиками вкуса, аромата и консистенции. Качотта относится к категории сыров, для которых характерна мягкая или полумягкая структура и сравнительно небольшой период созревания. Разнообразие сыров данной группы позволяет использовать качотту в качестве основы для разработки продуктов с различными натуральными добавками. В статье рассмотрен технологический процесс производства итальянского полутвёрдого сыра «Качотта с сушёными лисичками» на сыроварне ООО «Клевер» (г. Иркутск). Изучена история происхождения данного

сыра, а также описаны возможные добавки и наполнители, используемые при его производстве.

Ключевые слова: сыроделие, качотта, итальянские сыры, технология производства, полутвёрдый сыр, натуральные добавки, сушёные лисички, ООО «Клевер».

TECHNOLOGY OF PRODUCING CACIOTTA CHEESE WITH LIKVICHKI

A.A. Moiseeva, Y.A. Alekseeva

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. Traditional Italian cheeses are of particular importance for the development of cheesemaking. One of the prominent representatives of Italian cheese culture is Caciotta. This name encompasses a group of predominantly young cheeses, the production of which has historically evolved across various regions of Italy. Caciotta is made from cow's, sheep's, goats, or mixed milk. Depending on the type of raw material and the specifics of the technological process, the finished product can possess various characteristics of taste, aroma, and texture. Caciotta belongs to the category of cheeses characterized by a soft or semi-soft structure and a relatively short maturation period. The diversity of this cheese group allows Caciotta to be used as a base for developing products with various natural additives. This article examines the technological process of producing the Italian semi-hard cheese 'Caciotta with dried chanterelles' at the 'Klever' LLC creamery (Irkutsk). The history of the cheese's origin is explored, and the potential additives and fillers used in its production are described.

Key words: cheesemaking, caciotta, Italian cheeses, production technology, semi-hard cheese, natural additives, dried chanterelles, LLC "Klever".

Сыроделие является одним из древнейших направлений пищевого производства, история которого насчитывает несколько тысячелетий [10]. Возникновение сыра было связано прежде всего с необходимостью сохранить питательные свойства молока и продлить срок его хранения. Считается, что первые сыры появились в период развития скотоводства, когда человек начал активно использовать молоко домашних животных в качестве продукта питания. Постепенно простые способы переработки молока совершенствовались, формировались различные технологии его свёртывания, отделения сыворотки и созревания сырной массы [11]. Развитие сыроделия происходило в разных странах независимо друг от друга, что привело к появлению большого количества национальных и региональных разновидностей сыров. На сегодняшний день существует огромное разнообразие сырной продукции, отличающейся видом используемого молока, способом производства, продолжительностью созревания, консистенцией, вкусом и ароматом [5].

Исторически сыр является одним из наиболее древних продуктов переработки молока. Его возникновение было связано с развитием животноводства и необходимостью сохранения молочного сырья в условиях ограниченного срока его хранения. На протяжении многовековой истории сыроделия формировались различные способы коагуляции молочного белка, обработки сырного зерна, прессования и созревания сырной массы [11]. Особенности климатических условий, кормовой базы, используемого молока и национальных традиций

обусловили появление большого количества разновидностей сыров. В настоящее время сыры классифицируются по виду используемого молока, способу свёртывания, содержанию влаги и жира, консистенции, продолжительности созревания и другим технологическим показателям [3].

В современном обществе наблюдается устойчивый интерес к расширению ассортимента сырной продукции. Производители стремятся создавать новые виды сыров, используя натуральные ингредиенты, способные изменять или дополнять их вкусовые и ароматические свойства [5]. В качестве добавок могут применяться различные виды пряностей, трав, овощей, орехов, фруктов, ягод и грибов. Подобный подход позволяет сочетать традиционные технологии сыроделия с современными гастрономическими тенденциями и создавать продукты с оригинальными органолептическими характеристиками [12].

Использование дополнительных компонентов позволяет расширить ассортимент молочной продукции и создать продукты с отличающимися вкусовыми, ароматическими и визуальными характеристиками. Это особенно важно в условиях современного рынка, где потребители заинтересованы не только в традиционных видах сыров, но и в новых оригинальных продуктах, способных удовлетворять разнообразные вкусовые предпочтения [5, 13].

В России существует большой ассортимент сыров, качотта (*Caciotta*) – это итальянский полутвёрдый сыр. Считается, что его начали производить в центральной Италии ещё в период Древнего Рима. Регион Тоскана и Лацио считаются родиной этого сыра. Название «Качотта» происходит от латинского слова *caseus* – сыр [10]. Он производится из коровьего, овечьего или козьего молока, что придаёт ему разнообразие вкусовых оттенков. Вкус качотты может варьироваться от сладковатого до слегка пикантного в зависимости от срока выдержки и разновидности. Это один из самых известных и любимых итальянских сыров [11].

В России производство сыра не распространено, но начинает набирать обороты. В каждом производстве есть свои особенности сыроварения. На предприятии ООО «Клевер» в городе Иркутске разработали свою технологию производства сыра «Качотта с лисичками» [6, 9].

Далее перечислены добавки и наполнители могут использоваться при производстве сыра «Качотта»: розмарин, тимьян, базилик – придают пикантность; чёрный перец / чили – острота (например, *Caciotta al Peperoncino*; трюфель – грибной аромат (элитные сорта).

Грецкий орех, фундук, кедровый орех – хруст и сливочный привкус; кунжут, мак – лёгкая ореховая нота; натуральное копчение (бук, яблоня) – дымный оттенок; инжир, курага – сладковатый контраст (редко); оливки, вяленые томаты – средиземноморский вкус [11].

Консерванты (сорбаты, низин). Увеличивают срок годности.

Эмульгаторы (цитраты, фосфаты). Делают текстуру более пластичной (в плавленых вариантах).

Красители (аннато, бета-каротин). Придают лёгкий желтоватый оттенок [12].

Последовательность технологического процесса, следующая: приёмка молока на предприятии, далее следуют процесс пастеризации, охлаждение, заквашивание, процесс сквашивания молока, где образуется сгусток (полученный сгусток нарезается и затем нагревается для отделения сыворотки), затем идёт процесс перелива в формы, выдержка, посол, созревание [5, 6].

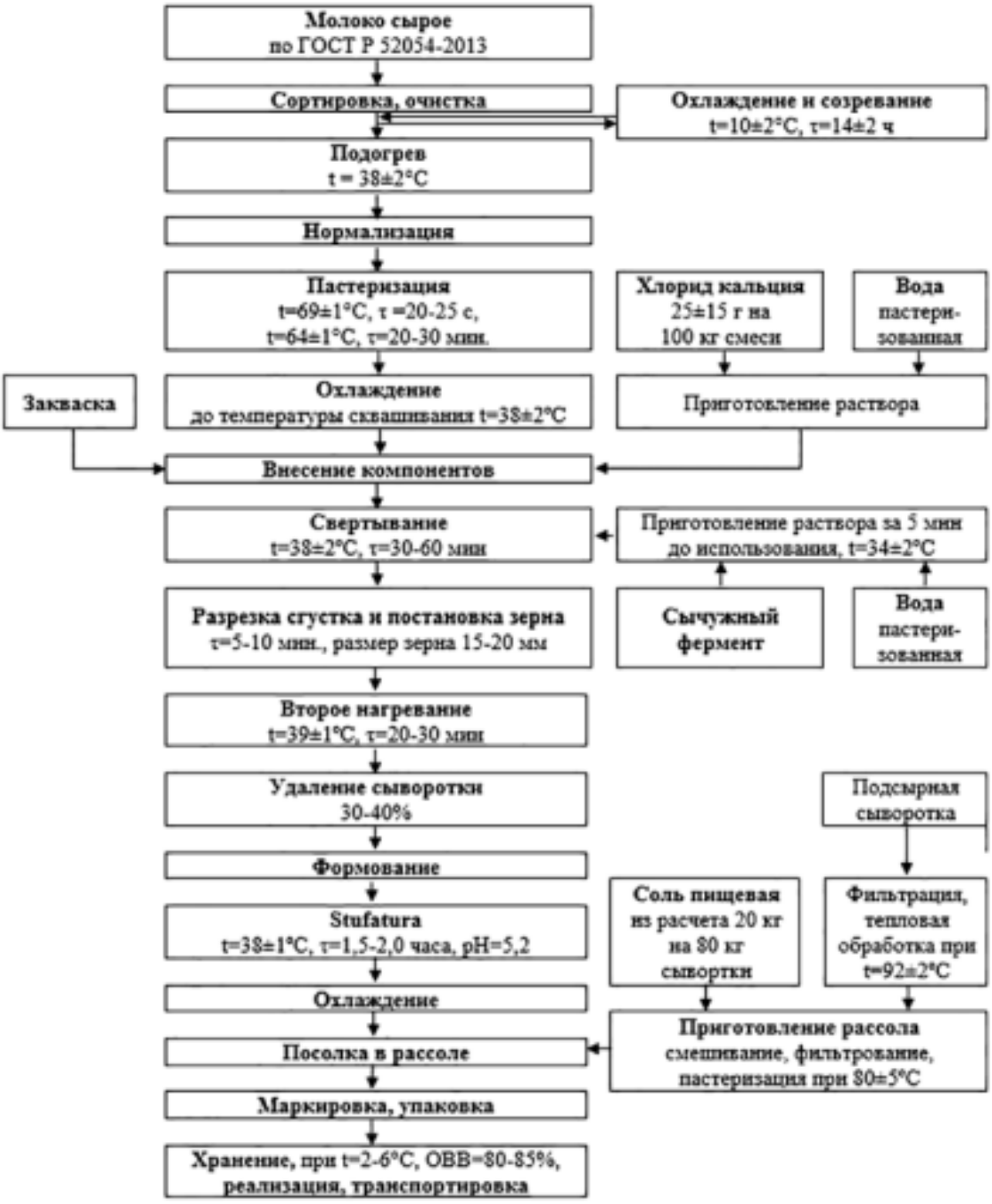


Рисунок 1 – **Блок-схема производства сыра «Качотта»**

Приёмка. Молоко на сыроварню поставляет АО «Железнодорожник», сырьё по физико-химическим показателям соответствует требованиям высшего сорта по показаниям кислотности 16° Т, плотности 1028 кг/м^3, температура при приёмке составляет 5° С, группа чистоты 1, молоко поступает жирностью от 3,5

до 3,9 % [1, 3, 9]. Затем насосом перекачивают молоко в фляги объёмом 50 литров.

Первым этапом начала производства сыра является пастеризация. Главной целью пастеризации является снижение содержания патогенных и технически вредных микроорганизмов до уровня, при котором они при последующем нормальном ходе технологического процесса не могут нанести ущерба качеству готового продукта [4, 7]. При этом следует учитывать, что условием, ограничивающим параметры пастеризации, является максимальное сохранение состава и физико-химических свойств молока, оказывающих влияние на выход и качество сыра [10].

Молоко заливают в сыроварню и нагревают до температуры 63-68° С, начинается процесс пастеризации, благодаря которому уничтожаются вредные микроорганизмы [4, 7]. После пастеризации молоко охлаждают до температуры заквашивания 36-37° С.

Следующим этапом является добавление термофильной закваски в охлажденное молоко до температуры 36-37° С, для активации заквасочных культур молоко оставляют на 30 минут [8]. Затем сухой гранулированный хлорид кальция массой 20 г растворяют в 50 мл воды температурой 35-37° С и вносят в молоко. Через 5-10 минут в молоко вносят жидкий сычужный фермент в количестве 15 мл перемешивают в 50 мл воды температурой 35-37° С. Раствор вносят в смесь и перемешивают 1-2 минуты. Останавливают движение молока и оставляют в покое 30 минут для получения сгустка [8]. После 30 минутной выдержки, получают калье, которое проверяют на плотность и выделение сыворотки, далее при помощи лиры, калье разрезают и оставляют на 5-10 минут, чтобы масса уплотнилась, а сыворотка отделилась. А затем повторно разрезают и оставляют на 10 минут. Дальше сырные сгустки нагревают до температуры 40-41° С и периодические помешивают, для того чтобы разбить куски до размера кукурузного зерна. Затем в сырную массу вносят сушёные лисички. Сушёные грибы соответствуют требованиям госта ГОСТ 33318-2015 [2]. После внесения наполнителя сырное зерно переливают в формы для дальнейшего отделения сыворотки и через 5-10 минут переворачивают сыр. По завершении процесса ёмкости ставят в ванну под плёнку на один час для того, чтобы лишняя сыворотка вышла [8].

Последующий этап происходит через 1 час. Головки готового сыра вынимают из ванны, солят в солевом растворе 20 % из расчёта 1 кг сыра – 7 часов. Следующим этап является созревание сыра. Качотта созревает при температуре 10-12° С, влажности 78 %. Головки вызревают примерно 30 суток [8].

Производимый на предприятии ООО «Клевер» в городе Иркутске сыр «Качотта с лисичками» соответствует требованиям ГОСТ Р 52686-2023 [3].

Список литературы

1. ГОСТ 31449-2013 Молоко коровье сырое. Технические условия. Дата введения в действие: 01.07.2014 – М. : Стандартинформ, 2019. Текст (электронный): https://internet-law.ru/gosts/gost/56442/.

2. ГОСТ 33318-2015 Грибы сушеные. Технические условия. Дата введения в действие: 01.01. 2017 - М. : Стандартинформ, 2019. Текст (электронный): https://internet-law.ru/gosts/gost/60550/.

3. ГОСТ Р 52686-2023 Сыры. Общие технические условия. Дата введения в действие: 05.09.2023 – М. : Российский институт стандартизации, 2023. Текст (электронный): https://internet-law.ru/gosts/gost/81371/.

4. *Алексеева, М.А.* Управление безопасностью и качеством молока / *М.А. Алексеева, Д. М. Климова* // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области : Материалы очно-заочной научно-практической конференции посвященной Дню Российской науки, п. Молодежный, 09 февраля 2023 года. Том II. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 9-10. – EDN TVLUPJ.

5. *Алексеева, Ю.А.* Актуальные тренды развития рынка молочной продукции России / *Ю.А. Алексеева* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы XV международной научно-практической конференции, п. Молодежный, 23-24 апреля 2026 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 337-343. – EDN SJYGQU.

6. *Козуб, Ю.А.* Безопасность продовольственного сырья и пищевых продуктов / *Ю.А. Козуб* // Состояние и перспективы развития ветеринарии и биотехнологии : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования Иркутской государственной сельскохозяйственной академии и 10-летию первого выпуска ветеринарных врачей, Москва, 10-11 декабря 2014 года / Министерство сельского хозяйства РФ Министерство сельского хозяйства Иркутской области Иркутская государственная сельскохозяйственная академия Монгольский государственный сельскохозяйственный университет Научно-исследовательский институт животноводства, Монголия. – Москва : Издательство "Перо", 2014. – С. 37-39.

7. *Козуб, Ю.А.* Динамика продуктивности коров разных генотипов в период лактации в Иркутской области / *Ю.А. Козуб* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 6(198). – С. 61-64.

8. *Луфаренко, О.Д.* Конроль качества молока при производстве кисломолочного продукта "Лактиналь" / *О.Д. Луфаренко, Ю.А. Козуб* // Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 26-28 апреля 2017 года / Главный редактор Филатова Е.Г., технический редактор Чернухин М.В. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2017. – С. 157-161.

9. *Луфаренко, О.Д.* Параметры технологического процесса производства кисломолочного продукта / *О.Д. Луфаренко, Ю.А. Козуб* // Молодая наука аграрного Дона : традиции, опыт, инновации. – 2018. – № 2-2. – С. 174-177.

10. *Мартемьянова, А.А.* Технология молока и молочных продуктов : учебное пособие / *А.А. Мартемьянова, Ю.А. Козуб.* – Иркутск : Иркутский ГАУ, 2019. – 134 с. - екст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - UL: https://e.lanbook.com/book/143200 (дата обращения: 01.07.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. *Раманаускас, И.И.* Технология и оборудование для производства натурального сыра : учебник для вузов / *И.И. Раманаускас, А.А. Майоров, О.Н. Мусина* [и др.]. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 508 с. – ISBN 978-5-507-47736-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/413480 (дата обращения: 14.07.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

12. *Степанова, Н.Ю.* Основы биотехнологии переработки сельскохозяйственной продукции : учебное пособие / *Н.Ю. Степанова*. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2024 – Часть 2 – 2024. – 86 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL:

https://e.lanbook.com/book/443795 (дата обращения: 12.07.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

13. *Хорошайло, Т.А*. Модернизация молочно-товарных ферм с использованием инновационного оборудования / *Т.А. Хорошайло, А.Р. Пудченко, Ю.А. Алексеева* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (105). – С. 308-310. – EDN XGOHQB.

14. *Хорошайло, Т.А.* Повышение продуктивности коров с использованием программы управления / *Т.А. Хорошайло, А.А. Гетман, Ю.А. Алексеева* // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (71). – С. 207-212. – EDN DHDAXM.

Сведения об авторах

Алексеева Юлия Анатольевна – к.с.х.н., доцент кафедры зоотехнии и технологии производства сельскохозяйственной продукции, доцент к.с.х. наук (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный), тел.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru.

Моисеева Анастасия Андреевна – студент 4 курса факультета биотехнологии и ветеринарной медицины (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, д. Куда), тел.: 89140144023, e-mail: anstar.moiseeva.05@gmail.com.

Information about the authors

Alekseeva Yulia A. – candidate of agricultural sciences, associate professor at the department of zootechnics and technology of agricultural product production, and an associate professor with a candidate of agricultural sciences degree. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (664038. Russia, Irkutsk region, Irkutsk district. Molodezhny village), tel.: 89148743734, e-mail: yulia_72@mil.ru.

Moiseeva Anastasia A. – 4th year student of the Faculty of Biotechnology and Veterinary Medicine (664540. Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Kuda village), tel.: 89140144023, e-mail: anstar.moiseeva.05@gmail.com.

УДК 621.311:62-52

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А.С. Герсе, Э.С. Шабаева

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения эффективности, безопасности и надёжности эксплуатации трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ путём внедрения роботизированных технологий. На примере действующей подстанции проведён анализ состава электрооборудования и численности обслуживающего персонала. Выполнен сравнительный анализ роботизированных решений, по результатам которого выбран промышленный робот *Saber*-750, оснащённый технической камерой *Rotrics DexARM*, солнечной батареей и станцией зарядки. Разработан алгоритм управления роботом. Выполнено технико-экономическое обоснование внедрения.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, автоматизация, робот, окупаемость, энергетика, высокоавтоматизированный.

THE USE OF HIGH-AUTOMATION TECHNOLOGIES IN THE ENERGY INDUSTRY

A.S. Gerse, E.S. Shabaeva

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines the problem of improving the efficiency, safety, and reliability of the operation of 10/0.4 kV transformer substations through the introduction of robotic technologies. Using an existing substation as an example, an analysis was carried out of the composition of the electrical equipment and the number of maintenance personnel. A comparative analysis of robotic solutions was performed, and based on its results, the industrial robot Saber-750 was selected; it is equipped with a Rotrics DexARM technical camera, a solar battery, and a charging station. A robot control algorithm was developed. A feasibility study for the implementation was carried out.

Key words: *transformer substation, automation, robot, payback, energy sector, highly automated.*

Надёжное и бесперебойное функционирование систем электроснабжения является критически важным фактором для развития АПК и обеспечения жизнедеятельности городов. Трансформаторные подстанции (ТП) напряжением 10 кВ служат ключевым звеном в распределении электрической энергии [3]. На сегодняшний день эксплуатация таких объектов сопряжена с рядом острых проблем. Традиционные методы обслуживания предполагают регулярное присутствие персонала, что создаёт прямую угрозу жизни и здоровью из-за риска поражения электрическим током, электромагнитного излучения и высокой вероятности возникновения аварийных дуг [6-9]. Визуальные и инструментальные осмотры, проводимые человеком, обладают низкой

оперативностью и ограниченной разрешающей способностью, что не позволяет своевременно выявлять скрытые дефекты на ранних стадиях развития. Содержание штата дежурных и оперативных бригад влечёт за собой высокие эксплуатационные расходы, при этом человеческий фактор (усталость, невнимательность) остаётся главной причиной ошибочных действий и недоучёта неисправностей [2].

В связи с этим возникает необходимость пересмотра подходов к эксплуатации и созданию высокоавтоматизированных подстанций, где ключевые задачи по мониторингу, диагностике возьмут на себя роботизированные комплексы [6]. Для этого необходима разработка комплексного подхода к интеграции роботизированных систем в единое интеллектуальное пространство трансформаторной подстанции и методологии выбора оптимальной конфигурации роботизированного парка на основе технико-экономических критериев применительно к конкретным условиям эксплуатации, что позволяет не просто автоматизировать осмотр, а перейти к предиктивной аналитике состояния электрооборудования в реальном времени [10].

Целью работы является повышение эффективности, безопасности и надежности эксплуатации ТП путём внедрения высокоавтоматизированных роботизированных технологий диагностики и контроля оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести детальный анализ существующего состояния объекта исследования, включая изучение перечня установленного электрооборудования, систем релейной защиты и автоматики, а также оценку численности и профессионального состава обслуживающего персонала;

2. Провести сравнительный анализ предлагаемых роботизированных решений;

3. Разработать технические и организационные мероприятия по внедрению выбранного комплекса роботизированного оборудования в структуру подстанции 10/0,4 кВ с учётом взаимодействия с существующими системами релейной защиты и автоматики (РЗА);

4. Выполнить технико-экономическое обоснование предлагаемой модернизации, включая расчёт стоимости оборудования и сопоставление затрат на оплату труда персонала до и после внедрения систем роботизации.

Объектом исследования является трансформаторная подстанция мощностью 2х630 кВА напряжением 10/0,4 кВ (на примере действующей 2БКТП-1ТП7, которая расположена в юго-восточной части муниципального образования Слюдянского района Иркутской области на территории Байкальского городского поселения) с комплексом электротехнического оборудования, систем защиты и средств автоматизации.

Действующая ТП № 2БКТП-1ТП7 включает в себя стандартное типовое электрооборудование: блочная комплектная двухтрансформаторная подстанция; малогабаритное комплектное распределительное устройство напряжением 10 кВ с элегазовой изоляцией (в РУ-10кВ устройство релейной защиты на базе блоков микропроцессорной защиты серии *Sepam P3U30*,

*SepamP*3*U*20); трансформатор силовой масляный герметичный (серии ТМГ-10/0,4 кВ); комплектное распределительное устройство (РУ-0,4кВ состоит из двух секций сборных шин, секционированных автоматическим выключателем с устройством АВР); шкаф питания собственных нужд; панель учёта со счётчиками СЭТ-4 ТМ.03М; шкаф пожарной сигнализации; комплектная конденсаторная установка, автоматически регулируемая.

Для обслуживания ТП № 2БКТП-1ТП7 требуется бригада из 4 человек (два работника с III группой по электробезопасности, ответственного руководителя работ с IV группой по электробезопасности и одного человека со II группой безопасности). Бригада состоит из местных работников и базируется в местном ПТО.

В качестве роботизированных решений рассматривались: роботизированная станция, модель *STAR*; робот *Saber*-750; мобильный робот *HR*. По результатам сравнения для обслуживания ТП № 2БКТП-1ТП7 применим промышленный робот *Saber*-750, который обладает списком необходимых качеств в отличие от остальных рассматриваемых роботов.

Итоговая комплектация промышленного робота *Saber*-750 имеет в своём составе: рельсы (общая длина, учитывая разметы ТП 38400 мм); техническая камера *Rotrics DexARM*, с встроенным микрофоном *Rotrix Studio* (комплект компьютерного зрения, содержащий множество *API*-интерфейсов *Pytho*); монокристаллическая солнечная батарея *SilaSolar* 720Вт/900Вт 18BB *TOPCon* (*TP Bifacial*); станция зарядки [1].

Для обеспечения эффективного управления роботом необходима программная часть системы (рисунок 1). Основной задачей программной части является обеспечение стабильной работы электроустановки при минимальном использовании человеческого ресурса, что способствует оптимизации работы персонала. Алгоритм включает следующие этапы: инициализация системы (настройка программы робота-манипулятора); считывание данных с помощью камеры (получение текущих значений температуры, герметичности вакуумных выключателей, режимов короткого замыкания); обработка данных (анализ полученных данных и принятие решений на основе установленных пороговых значений); управление исполнительными устройствами (активизация соответствующих исполнительных устройств для поддержания работы электроустановки без риска повреждения оборудования).

Учитывая стоимость составляющих итоговой комплектации промышленного робота *Saber*-750, монтаж, пусконаладочные работы и настройка ПО (10 % от стоимости оборудования) итоговые капитальные затраты на внедрение робота составят 11623744 руб. Их структура показана на рисунке 2. По данным рисунка 2 видно, что затраты на направляющие для перемещения манипулятора составляют 54,7 %, на втором месте стоимость робота – 31,8 % и 13,5 % распределены между монтажом и вспомогательным оборудованием.

На рисунке 3 показаны затраты обслуживание ТП № 2БКТП-1ТП7 с роботом и без него. Годовых затраты на обслуживание включают фонд оплаты труда персонала, транспортные расходы бригады, техническое обслуживание

робота (ЗИП, ПО, диагностика – 5 % от стоимости оборудования), затраты на электроэнергию для зарядки.

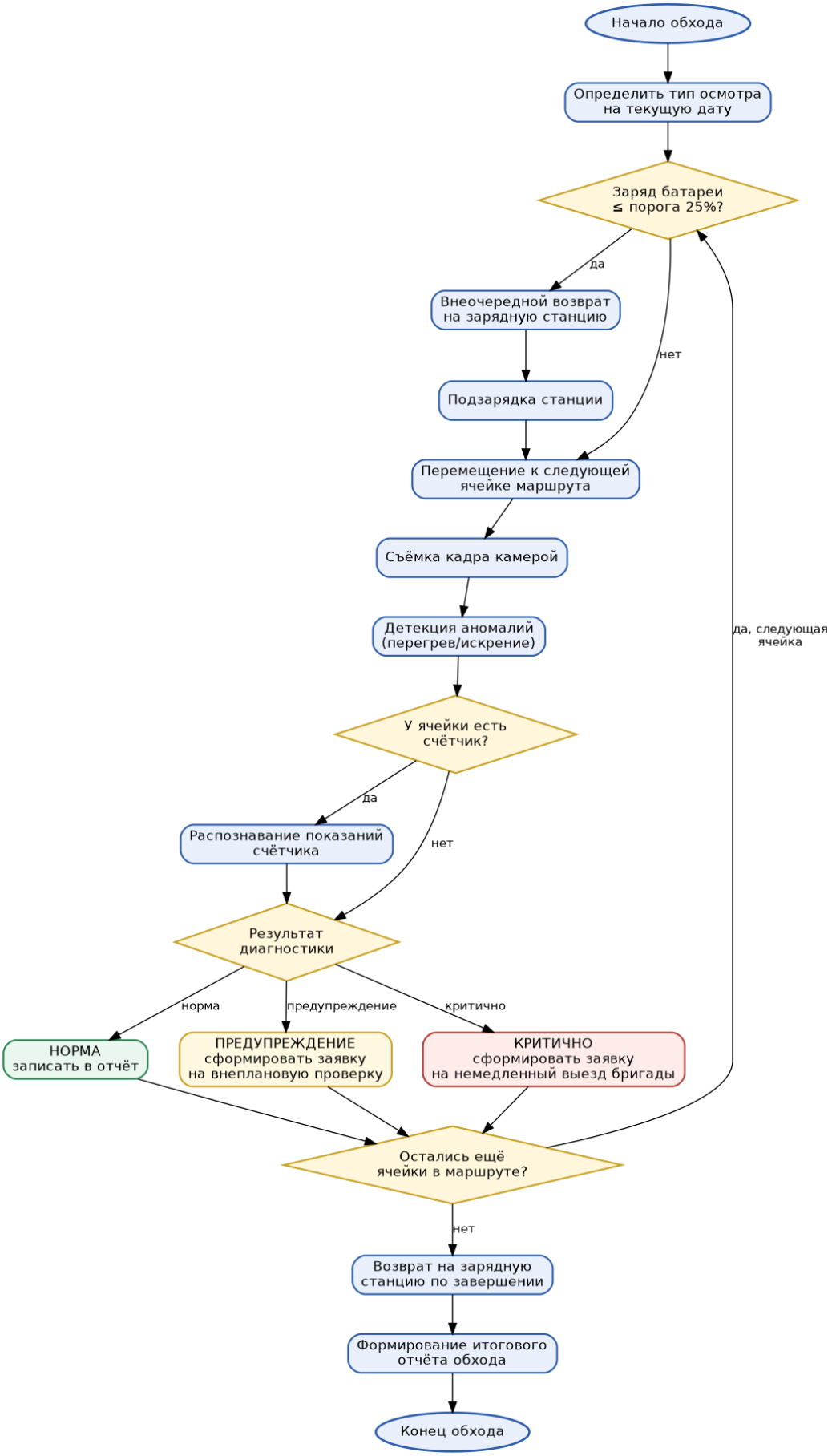


Рисунок 1 – **Структурная схема работы робота**

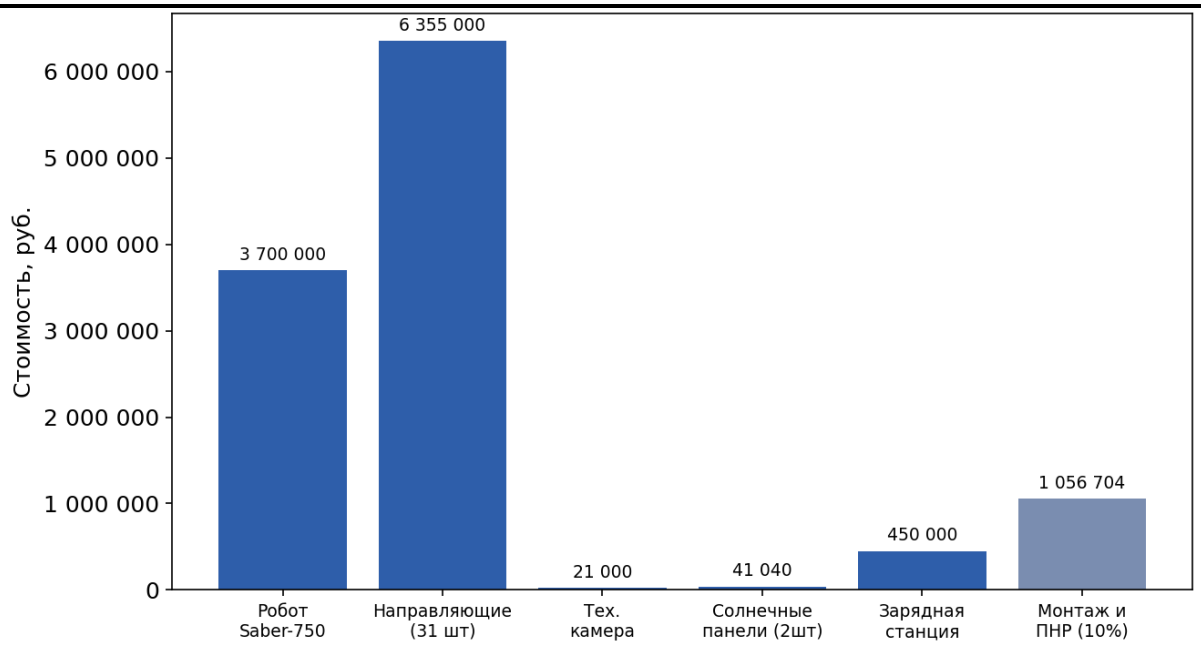


Рисунок 2 – **Структура капитальных затрат на внедрение робота**

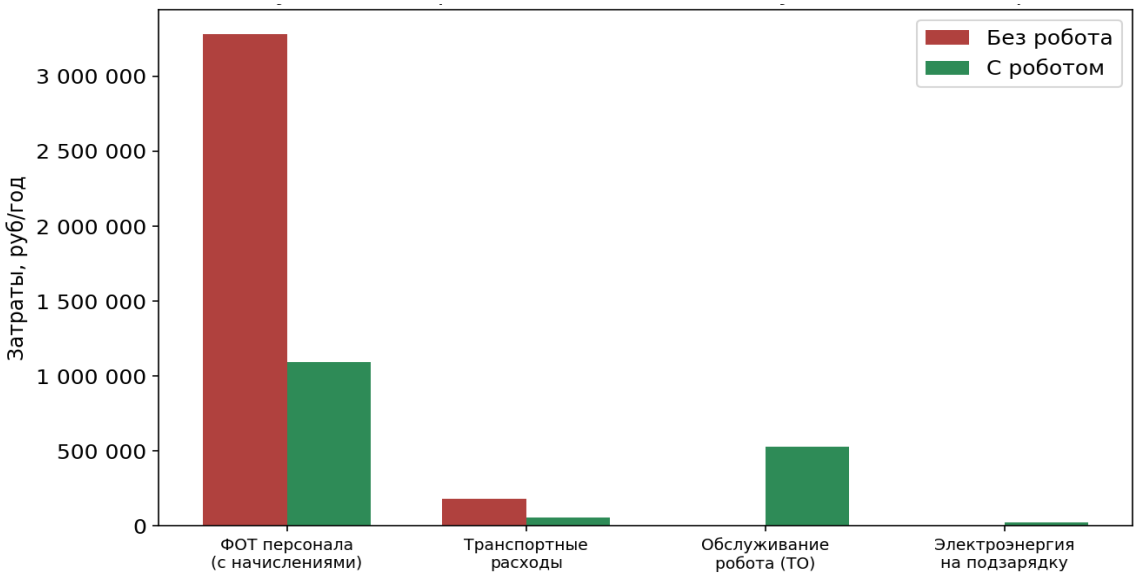


Рисунок 3 – **Сравнение годовых эксплуатационных затрат на обслуживание ТП**

Динамика накопленного денежного потока по годам показана на рисунке 4. В начале периода значение отрицательное и равно капитальным затратам, дальше поток растёт каждый год на величину экономии эксплуатационных затрат.

Накопленный денежный поток начинает увеличивается между 6-м и 7-м годами эксплуатации – это согласуется с расчётным сроком окупаемости в 6,6 года.

Нормативный срок службы робота и сопутствующего оборудования – не менее 10 лет, так что окупаемость укладывается в период полезного использования, и использование робота можно считать экономически целесообразным.

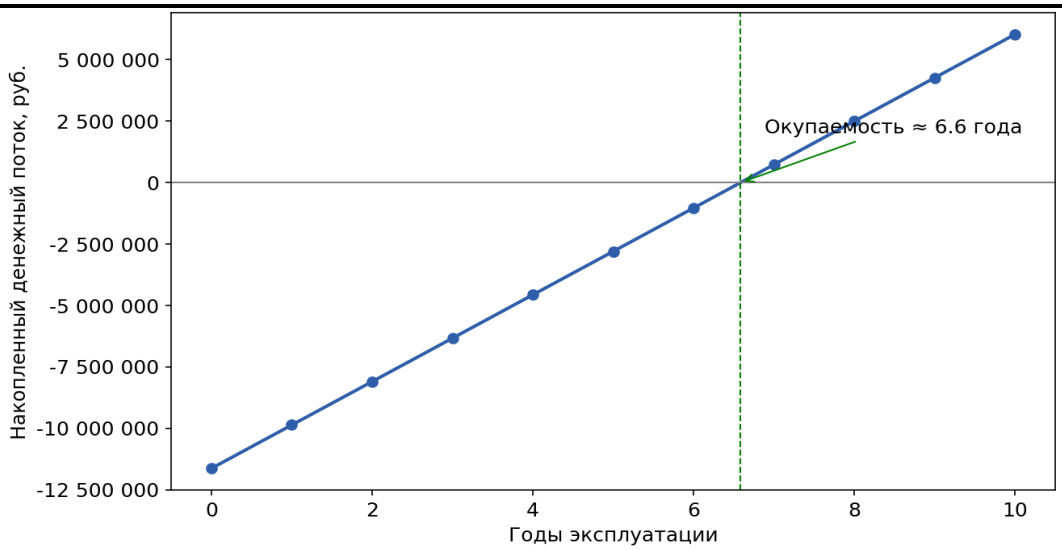


Рисунок 4 – **Срок окупаемости робота**

Предложенный подход к интеграции роботизированных систем может быть масштабирован на другие однотипные подстанции, а алгоритм управления дополнен функциями машинного обучения для повышения точности предиктивной диагностики и автоматического распознавания дефектов электрооборудования.

Список литературы

1. *Буланова, А.Д.* Расчет и выбор солнечных модулей для автономного электропитания теплицы на территории Иркутской области / *А.Д. Буланова, Л.А. Любавина* // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области : сборник тезисов очно-заочной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки, п. Молодежный, 06 февр. 2026 г. – п. Молодежный : Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2026. – С. 105-106.

2. *Гусельников, А.В.* Анализ несчастных случаев, произошедших в ходе обслуживания энергоустановок / *А.В. Гусельников* // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области : материалы очно-заочной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки, Иркутск, 06-07 февр. 2025 г. – Иркутск : Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2025. – С. 147-148.

3. *Далбаев, Г.П.* Анализ состояния парка силовых трансформаторов в различных электросетевых компаниях Иркутской области / *Г.П. Далбаев, Э.С. Федоринова* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, п. Молодежный, 26-27 февр. 2026 г. – п. Молодежный : Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2026. – С. 874-877.

4. *Метелин, В.А.* Анализ изменения плотности электролита в зависимости от условий эксплуатации / *В.А. Метелин, П.И. Ильин* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК : материалы заочной научно-практической конференции, посвященной Дню Энергетика, Иркутск, 11 дек. 2025 г. – Иркутск : Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2025. – С. 105-106.

5. *Наумов, И.В.* Состояние электроэнергетического комплекса Иркутской области / *И.В. Наумов, Э.С. Федоринова, М.А. Якупова* // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 90-летию Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 14-15 марта 2024 г. – п. Молодежный : Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2024. – С. 160-165.

6. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р (в ред. от 15 февр. 2025 г.).

7. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 2003. – 488 с.

8. Современные средства оценки состояния электрического оборудования / *А.А. Мельников* [и др.] // Информационные системы и технологии АПК и ПГС : сборник научных статей 3-й Международной научно-технической конференции, Курск, 10 окт. 2025 г. – Курск : ЗАО «Университетская книга» ; Курский ГАУ им. И. И. Иванова, 2025. – С. 263-266.

9. СТО 56947007-29.240.10.299-2020. Цифровая подстанция. Методические указания по проектированию ЦПС. – М. : ПАО «ФСК ЕЭС», 2020. – 125 с.

10. Agile Hand – the human-like robotic hand [Электронный ресурс] / Agile Robots SE. – Режим доступа: agile-robots.com (дата обращения: 10.09.2026).

Сведения об авторах

Герсе Андрей Станиславович – магистр направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89996830865, e-mail: craftycat119@mail.ru).

Шабаева Эльвира Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжения и электротехники». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89041179752, e-mail: fedorinovaes@irsau.ru).

Information about the authors

Gerse Andrey S. – master 13.04.02 «Power engineering and electrical engineering» Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89996830865, e-mail: craftycat119@mail.ru).

Shabaeva Elvira S. – candidate of technical sciences, associate professor at the department «Power supply and electrical engineering ». Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89041179752, e-mail: fedorinovaes@irsau.ru).

УДК 519.86:631.58

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКЦИИ НА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЛЯХ

Я.М. Иваньо, А.А. Слаута

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В работе приведён литературный обзор исследований залежных земель в Российской Федерации и Иркутской области. Рассмотрены ключевые проблемы моделирования использования залежных земель, для управления в условиях большого разнообразия сочетания факторов. Проанализированы математические модели, используемые для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов. На основе особенностей природно-климатических факторов и производственно-экономических характеристик разных районов Иркутской области выделены модели, позволяющие оптимизировать производство растениеводческой продукции и заготовку дикоросов в сочетании.

Ключевые слова: залежные земли, оптимизационные модели, сельскохозяйственное производство, дикоросы, информация, Иркутская область.

SPECIFICS OF MODELING PRODUCTION PROCESSES ON FALLOW LANDS

Ya.M. Ivanyo, A.A. Slauta

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The paper presents a literature review of research on fallow lands in the Russian Federation and the Irkutsk region. It examines key challenges in modeling fallow land use for management purposes amidst a wide variety of factor combinations. Mathematical models used to optimize agricultural production and the harvesting of wild-growing plants are analyzed. Based on the specific natural-climatic factors and production-economic characteristics of various districts in the Irkutsk region, models are identified that enable the optimization of combined crop production and wild plant harvesting.

Key words: fallow lands, optimization models, agricultural production, wild-growing plants, information, Irkutsk Region.

На протяжении последних десятилетий значительные площади сельскохозяйственных угодий выведены из оборота и перешли в категорию залежных земель. По данным Росреестра, площадь залежей в России с 1990 по 2023 г. увеличился от 0,3 до 5,1 млн. га [13]. Площадь неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения в Иркутской области достигает 748,4 тыс. га, из которых около 500 тыс. га залежные земли [10, 11]. Стратегией социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года (утверждена Законом Иркутской области от 10.01.2022 № 15-ОЗ) [1] предусмотрен ввод в сельскохозяйственный оборот неиспользуемой пашни в объёме не менее 300 тыс. га к 2036 году.

Площади залежных земель неравномерно распределены по региону. Отметим, например, что Осинский район является одним из наиболее неблагополучный в Иркутской области по масштабам вывода пахотных земель из оборота, более 80 % сельскохозяйственных земель занимают залежи [11].

Залежные земли являются большим ресурсным потенциалом для развития сельского хозяйства Иркутской области, увеличения объёмов производимой продукции и дополнительного использования экспортного потенциала товаропроизводителей.

Для решения этой задачи необходимы исследования по определению оптимального использования ресурсов залежных земель с минимизацией затрат и получением максимального дохода для предприятий агропромышленного комплекса. Выбор оптимального использования залежных земель требует комплексного подхода, учитывая природно-климатические, почвенные, экономические и социальные факторы [5, 14, 16]. Традиционные детерминированные модели не позволяют учесть многофакторную неопределённость процесса деятельности хозяйства, поэтому требуется применение методов оптимизации производства, переработки и реализации продукции в условиях неопределённости большого числа факторов.

Целью работы является анализ методов и математических моделей для оптимизации использования ресурсов залежных земель с учётом их особенностей.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1) Обзор исследований ресурсов залежных земель;

2) Выделение моделей, которые могут быть применены для оптимизации использования ресурсов залежных земель;

3) Рассмотрение основных ограничений при моделировании использования залежных земель.

В работе рассмотрены методы системного анализа, экономико-математического моделирования, оптимизации и математической статистики.

Проанализированы научные публикации по залежным землям, данные Росреестра, Министерства сельского хозяйства РФ и исследования многих авторов по моделированию процессов получения сельскохозяйственной продукции в разных условиях деятельности организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств.

Проблема залежных земель привлекает внимание многих учёных. Так, в работе [15] проведена комплексная оценка агроэкологического состояния земель, выбывших из активного оборота, и определены перспективы их возвращения в производство на территории РФ. Авторы статьи [10] проанализировали причины вывода земель из оборота охарактеризовали современное состояние залежей в разных почвенно-климатических зонах России и рассмотрели перспективы их вовлечения.

В исследованиях [13] систематизированы данные по распространению залежей, их почвенному и растительному потенциалу на территории России, а также рассмотрены варианты их рационального использования (сенокосы, пастбища, лесопользование, дикоросы).

В [11] рассмотрены физико-химические свойства почв залежей в Иркутской области, не обрабатывавшихся более 15 лет, согласно которым содержание гумуса восстанавливается до уровня «Выше среднего», но для повышения плодородия требуются удобрения.

В монографии [2] проанализированы характеристики бесхозяйных мелиорируемых земель и перспективы их использования в Иркутской области, что имеет прямое отношение к проблеме вовлечения залежных земель в оборот, а в работе [14] рассмотрено современное состояние залежных земель и предложены направления их восстановления.

В статье [3] рассмотрена эволюция представлений о залежах, стадии сукцессий, подходы к оценке площадей и перспективы использования в сельском хозяйстве и экосистемном контексте на территории РФ. Работа [16] посвящена процессам деградации почв в России и их влияние на аграрную экономику.

Залежные земли на территории Иркутской области обладают следующими особенностями:

- Разнообразием специфических природно-климатических факторов, по-разному влияющих на ландшафты;

- Развитием эрозионной деятельности, вызванной особенностями рельефа, почв, экспозицией склонов и метеорологическими факторами в виде интенсивных осадков и ветровой деятельности;

- Наличием абразионных процессов, разрушающих прибрежные сельскохозяйственные угодья, ввиду формирования волнений на водохранилищах;

- Процессами интенсивного зарастания земель деревьями и кустарниковой растительностью и др.

В Иркутской области площадь нарушенных земель составляет 14 % от общей площади области. В Усть-Ордынском Бурятском автономном округе эрозией затронуто около 42 % (в Осинском районе до 64 %) сельскохозяйственных угодий [10]. Абразия берегов Иркутского водохранилища затрагивает около 165 км береговой линии (58 % от общей протяжённости) [8].

Залежные земли, выведенные из оборота на длительный срок, подвергаются активному зарастанию, в России более 60 % из них подвержены всем видам деградации и зарастают молодым лесом и кустарниками [10]. Авторы [3] отмечают, что разновозрастные залежи на территории РФ представляют хроноряды различных динамичных биогеоценозов с трансформирующимися растительным и почвенным компонентами.

Освоение залежных земель требует затрат труда и техники. По данным Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения, к концу 2031 года должны быть введены в использование залежные земли площадью не менее 13,235 млн га. За 2022-2023 гг. введено в производство более 950 тыс. га залежных земель [12].

Ключевой проблемой является неполнота информации о состоянии земельных ресурсов [5]: отсутствие актуальных данных о площадях, недостаток почвенных обследований, неопределённость экономических параметров.

Для оценки эффективности использования ресурсов залежных земель можно использовать оптимизационные модели с неопределёнными характеристиками, позволяющие определять оптимальные варианты для принятия решений.

Систематизация математических моделей, применимых на залежных землях, приведена в таблице 1. Применение моделей позволяет на количественной основе обосновывать управленческие решения по вовлечению залежных земель в оборот с учётом природных, информационных и производственно-экономических ограничений.

Таблица 1 – **Математические модели для расчёта процессов на залежных землях**

Модель (авторы, год)	**Математический аппарат**	**Ключевые ограничения**
Модели оптимизации заготовки дикоросов [5]	Линейное программирование с интервальными характеристиками	Доступная площадь сбора; биологическая урожайность; трудозатраты; экологическая норма изъятия; сезонность, неопределённость внешних факторов
Модели сочетания отраслей сельского хозяйства и дикоросов [5]	Линейные оптимизационные модели с детерминированными и неопределёнными характеристиками	Площадь земель; экологические ограничения; трудовые и технические ресурсы для обеих отраслей
Математические модели аграрного производства региона с природными и производственно-экологическими параметрами [7]	Задача линейного программирования с неопределёнными характеристиками	Площадь земель, экологические условия, ограничения трудовых и технические ресурсов для разных отраслей сельского хозяйства
Модель параметрического программирования оптимизации производства сельскохозяйственного продукции [4]	Задача параметрического программирования, факторные модели изменчивости динамических характеристик	Скорость сукцессионных процессов; стадия зарастания; затраты на мелиорацию; выбор технологии обработки
Модели на основе данных дистанционного зондирования [17]	Расчёт вегетационного индекса *NDVI*; дискриминантный анализ сезонных значений *NDVI*	Наличие и качество спутниковых данных; облачность; необходимость калибровки по наземным измерениям; сезонность

Для выбора направления использования залежных земель необходимо провести сравнительный анализ трёх основных вариантов: производство растениеводческой продукции, заготовка дикоросов и их сочетание (таблица 2).

Сравнительный анализ показывает, что каждый из вариантов использования залежных земель имеет свои преимущества и ограничения. Растениеводство обеспечивает высокий социальный эффект, но требует значительных ресурсов и характеризуется низкой устойчивостью к рискам, а заготовка дикоросов экологически безопасна и менее ресурсоёмка, но сильно зависит от природных условий и даёт лишь сезонную занятость.

Таблица 2 – **Оценка потенциала ресурсов залежных земель**

Критерий	Использование	Оценка	Обоснование
Экономическая эффективность	продукции растениеводства	Высокая / Низкая	Зависит от плодородия, транспортной доступности, рыночных цен [11, 13]
	заготовки дикоросов	Средняя (зависит от урожайности)	Низкие капитальные затраты, но высокая зависимость от природных условий [6, 13]
	сочетания	Высокая (при оптимизации)	Диверсификация доходов снижает риски, позволяет эффективно использовать разные участки [6]
Экологическая безопасность	продукции растениеводства	Низкая – средняя	Распашка усиливает эрозию, снижает биоразнообразие, требует внесения удобрений [2, 10]
	заготовки дикоросов	Высокая	Не нарушает естественные экосистемы при соблюдении норм изъятия [13]
	сочетания	Средняя – высокая	Возможно сохранение части территории под дикоросы, смягчая экологические последствия распашки [2, 10]
Ресурсоёмкость	продукции растениеводства	Высокая	Требует техники, удобрений, ГСМ, рабочей силы [10, 13]
	заготовки дикоросов	Низкая – средняя	Требует трудовых ресурсов в сезон сбора, минимальных материальных затрат [6]
	сочетания	Средняя	Требует технических ресурсов для растениеводства и трудовых – для заготовки дикоросов [6, 9]
Устойчивость к рискам	продукции растениеводства	Низкая	Зависимость от погоды, болезней, вредителей, колебаний цен [4, 5]
	заготовки дикоросов	Средняя	Зависит от урожайности дикоросов, подверженной колебаниям (болезни и вредители), влияющим на качество [6]
	сочетания	Высокая	Падение цен на одну продукцию компенсируется другой [6, 9]
Социальный эффект	продукции растениеводства	Высокий	Создаёт рабочие места, обеспечивает продовольствием [13]
	заготовки дикоросов	Средний	Сезонная занятость [6, 13]
	сочетания	Высокий	Создаёт рабочие места круглый год (полевые работы и сезонная заготовка) [6, 9]

Наиболее сбалансированным является сочетание отраслей, позволяющее обеспечить поступление доходов из разных источников, снизить риски и обеспечить круглогодичную занятость. При этом выбор конкретного варианта должен основываться на количественных расчётах с учётом ограничений.

Анализ рассмотренных ограничений позволяет выделить ключевые проблемы моделирования использования залежных земель (таблица 3).

Таблица 3 – **Проблемы моделирования использования залежных земель**

Проблема	Характеристика
Многокритериальность	Оптимизация требует одновременного учёта экономических, экологических и социальных критериев, что требует применения методов многокритериальной оптимизации [9]
Динамичность объектов	Залежные земли находятся в постоянной динамике – меняются почвенные свойства, растительный покров, степень зарастания [2, 10]. Модели должны учитывать изменения во времени, что требует использования динамических моделей [4]
Пространственная неоднородность	Участки залежных земель различаются по плодородию, уклону, степени зарастания [10, 11]
Неопределённость исходных данных	Моделирование в условиях неполной информации требует применения стохастических и интервальных подходов [4-7]
Сложность учёта экологических ограничений	Эрозия, захламлённость, сохранение биоразнообразия, трудно поддаются количественной оценке и включению в модели [2, 10]
Интеграция разнородных данных	Для построения моделей необходимо объединять данные дистанционного зондирования, почвенных обследований, экономической статистики и экспертных оценок [5, 6]

Для улучшения процессов моделирования использования залежных земель в условиях большого разнообразия сочетания факторов эффективными являются методы:

1) Математического программирования и статистической обработки данных;

2) Имитационного моделирования;

3) Машинного обучения и нейронных сетей;

4) Экспертных оценок для восполнения недостатка эмпирических данных;

5) Дистанционного зондирования Земли с помощью спутников и беспилотных авиационных систем.

Заключение. Залежные земли Иркутской области площадью около 500 тыс. га представляют ресурсный потенциал, требующий научно обоснованного подхода к вовлечению в оборот.

Разработанные оптимизационные модели с неопределенными характеристиками позволяют моделировать процессы получения продукции сельского хозяйства и заготовки дикоросов.

Сравнительный анализ разных вариантов использования залежных земель в условиях Иркутской области показывает, что наиболее эффективным для использования ресурсов залежных земель является сочетание растениеводческой отрасли и заготовки дикоросов в разных условиях деятельности предприятия.

Список литературы

1. Закон Иркутской области от 10.01.2022 № 15-ОЗ «О Стратегии социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года» // Официальный интернет-

портал правовой информации Иркутской области. – URL: https://irkobl.ru/ (дата обращения: 18.08.2026).

2. *Афонина, Т.Е.* Бесхозяйные мелиорируемые земли в Иркутской области, их характеристика и перспективы использования: монография / *Т.Е. Афонина, Е.А. Пономаренко, В.Ю. Просвирнин.* – М. : ИКЦ «Колос-с», 2024. – ISBN 978-5-00129-411-5.

3. *Басевич, В.Ф.* Залежные земли: историческая справка и современные аспекты (обзор) / *В.Ф. Басевич, Н.А. Куликова, В.В. Фисенко* // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2025. – Т. 80. – № 2. – С. 5-21.

4. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / *Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова , Ю.В. Столопова, С.А. Петрова.* //Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 6 (96). С. 131-143.

5. *Иваньо, Я.М.* Моделирование производственных процессов сельскохозяйственного предприятия с учетом оценок выдающихся климатических событий / *Я.М. Иваньо* // Вестник ИрГСХА. – 2010. – № 41. – С. 139-147.

6. *Иваньо, Я.М.* Оптимизация использования земельных ресурсов региона в условиях неполной информации: монография / *Я.М. Иваньо, Е.С. Труфанова.* – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2011. – 162 с. – ISBN 978-5-91777-058-1.

7. *Иваньо, Я.М.* Экономико-математические модели аграрного производства региона с интервальными природными и производственно-экологическими параметрами // *Я.М. Иваньо, Е.А. Хогоева* //Известия Иркутской государственной экономической академии. 2013. № 6. С. 138-143.

8. *Карнаухова, Г.А.* Вещественный состав донных отложений в прибрежной зоне Иркутского водохранилища / *Г.А. Карнаухова* // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2016. – Т. 17. – С. 45-58.

9. *Кирейчева, Л.В.* Эколого-экономическое обоснование введения в сельскохозяйственный оборот длительно неиспользуемых земель / Л.*В. Кирейчева, В.А. Шевченко, И.Ф. Юрченко* // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 2. – С. 4-9.

10. *Козлов, А.В.* Современное состояние отечественных залежных земель и перспективы их восстановления / *А.В. Козлов, В.А. Кузнецов, О.А. Макаров* // Земледелие. – 2015. – № 4. – С. 12-18.

11. *Лопатина, Д.Н.* Физико-химические свойства почв залежей бассейна р. Оса / *Д.Н. Лопатина, И.А. Белозерцева* // Почвоведение. – 2023. – № 6. – С. 720-731.

12. *Медведева, А.* Зерновой пояс России страдает от деградации почв и опустынивания / А. *Медведева* // ФНЦ агроэкологии РАН : [сайт]. – 2025. – 21 янв. – URL: https://vfanc.ru/zernovoj-poyas-rossii-stradaet-ot-degradaczii-pochv-i-opustynivaniya-fncz-agroekologii-ran/ (дата обращения: 18.08.2026).

13. *Нечаева, Т.В.* Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) / *Т.В. Нечаева* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2023. – № 3. – С. 45-62.

14. *Пономаренко, Е.А.* Современное состояние залежных земель Российской Федерации и перспективы их восстановления / *Е.А. Пономаренко, А.И. Сердюк* // Материалы конференции. – 2024. – С. 49-52.

15. *Романенко, Г.А.* Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель, выбывших из активного оборота / под ред. Г.А. Романенко. – М. : Росинформагротех, 2008. – 180 с.

16. *Стрелкова, О.А.* Деградация почв в России становится угрозой плодородию и аграрной экономике страны / *О.А. Стрелкова* // Экология России. – 2026. – 26 мая. – URL: https://ecologyofrussia.ru/degradatsiya-pochv-v-rossii-stanovitsya-ugrozoy-plodorodiyu-i-agrarnoy-ekonomike-strany/ (дата обращения: 18.08.2026).

17. *Терехин, Э.А.* Распознавание залежных земель на основе сезонных значений вегетационного индекса NDVI / *Э.А. Терехин* // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 5. – С. 719-725.

Сведения об авторах

Иваньо Ярослаав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и атематического моделирования. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, сельское поселение Молодежное, поселок Молодежный, здание 1/1, тел.: 8(3952)237431, e-mail: iymex@rambler.ru).

Слаута Александра Андреевна – аспирант кафедры информатики и атематического моделирования. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (тел.: 89501316114, e-mail: slauta_a.a@mail.ru).

Information about the authors

Ivanyo Yaroslav M. – doctor of technical sciences, professor of the department of informatics and mathematical modeling. Irkutsk state agrarian university named after A.A. Yezhevsky (664038, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny settlement, building 1/1, tel.: 8(3952)237431, e-mail: iymex@rambler.ru).

Slauta Alexandra A. – postgraduate student of the department of informatics and mathematical modeling. Irkutsk state agrarian university named after A.A. Yezhevsky (tel.: 89501316114, e-mail: slauta_a.a@mail.ru).

УДК 631,3:330,46

МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА

Я.М. Иваньо, С.А. Борик

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматриваются математические модели оптимизации машинно-тракторного парка (МТП) сельскохозяйственного предприятия. Актуальность исследования заключается в необходимости рационального использования дорогостоящих технических и топливно-энергетических ресурсов, соблюдения агротехнических сроков и снижения простоев техники. Рассмотрены модели формирования оптимального состава МТП, распределения техники по технологическим операциям, планирования сроков и маршрутов выполнения работ, минимизации эксплуатационных затрат и многокритериальной оптимизации. Показана целесообразность применения линейного и целочисленного программирования, а для сложных многокритериальных задач – эвристических и метаэвристических методов. Приведены сведения о программных приложениях решения задач оптимизации МТП.

***Ключевые слова**:* машинно-тракторный парк, математические модели, алгоритмы, программные приложения.

OPTIMIZATION MODELS FOR MACHINE AND TRACTOR FLEETS

Ya.M. Ivanyo, S.A. Borik

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines mathematical models for optimizing the machine and tractor fleet (MTF) of an agricultural enterprise. The relevance of the study lies in the need for the rational use of expensive technical and fuel-energy resources, adherence to agrotechnical timelines, and the reduction of equipment downtime. Models are discussed regarding the determination of optimal fleet composition, the allocation of machinery to technological operations, the planning of work schedules and routes, the minimization of operating costs, and multi-criteria optimization. The suitability of using linear and integer programming is demonstrated, as well as heuristic and metaheuristic methods for complex multi-criteria problems. Information on software applications for solving MTU optimization problems is provided.

Key words: machine and tractor fleet, mathematical models, algorithms, software applications.

Введение. Эффективность сельскохозяйственного производства в значительной степени определяется тем, насколько рационально используются технические ресурсы предприятия. Центральное место в этой системе занимает машинно-тракторный парк, включающий тракторы, сельскохозяйственные машины, специализированную и вспомогательную технику [15]. От состава парка, технического состояния машин, их загрузки и организации работы зависят своевременность выполнения технологических операций, производительность труда, расход топлива, себестоимость механизированных работ и в конечном итоге экономическая результативность производства.

Особенностью эксплуатации МТП является выраженная сезонность [3]. В отдельные периоды хозяйству необходимо одновременно выполнять несколько технологических операций, причём многие из них имеют ограниченные агротехнические сроки. Недостаток техники в такой момент может привести к задержке работ, а избыточный состав парка – к росту капитальных и эксплуатационных затрат и снижению коэффициента использования машин. Дополнительную сложность создают погодные условия, различия характеристик полей, техническое состояние машин, наличие механизаторов, ограничения по топливу и ремонтным ресурсам.

Важным направлением является формирование модели оптимального состава парка [3, 4, 12]. Её задача состоит в определении количества машин различных типов, необходимого для выполнения планируемого объёма сельскохозяйственных работ с учётом финансовых, трудовых, производственных и временных ограничений. Поскольку количество физически существующих машин является целым числом, подобная задача естественным образом связывается с целочисленным программированием [4]. Наряду с ней рассматриваются задачи распределения техники по операциям и полям, календарного планирования, оптимизации маршрутов, технического обслуживания и управления ресурсами.

Цель статьи – проанализировать модели оптимизации машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия, показать их достоинства и недостатки для определения дополнительных аспектов их развития.

Для достижения цели необходимо рассмотреть исходные условия и критерии оптимизации МТП; проанализировать основные математические модели; определить роль алгоритмов и программных приложений в применении моделей.

Материалом исследования послужили работы различных авторов в области оптимизации МТП и разных сторон его деятельности [10, 18, 19]. Рассмотрены теоретические основы оптимизации МТП, математические модели, разные алгоритмы решения оптимизационных задач. При этом современное моделирование разных сторон сельскохозяйственного производства требует автоматизации, применения специальных программных приложений [5, 15].

Методологическая основа исследования включает в себя аналитический метод, сравнительный анализ, обобщение научных и прикладных источников, а также рассмотрение типовых постановок задач оптимизации и расчетных зависимостей.

В качестве исходных данных для математической модели могут выступать сведения о составе МТП, технических характеристиках машин и агрегатов, производительности, расходе топлива, эксплуатационных затратах, техническом состоянии, количестве механизаторов и доступном фонде рабочего времени. Дополнительно задаются объемы сельскохозяйственных работ, сроки их выполнения и характеристики технологических операций. В зависимости от постановки могут учитываться расстояния между полями, особенности рельефа, погодные условия и другие факторы.

Ключевым элементом любой оптимизационной модели является множество искомых переменных [2, 4, 6]. Для задачи формирования состава парка такими переменными может быть количество машин i-го типа. Для задачи распределения – количество машин или агрегатов, назначенных на j-ю технологическую операцию. В задачах календарного планирования переменные могут отражать момент начала и окончания работ либо распределение техники по временным интервалам.

Вторым элементом является целевая функция [2, 4, 6]. К числу основных критериев относятся минимизация совокупных эксплуатационных затрат, расхода топлива, продолжительности выполнения работ и простоев; максимизация производительности и коэффициента использования техники. Критерии могут противоречить друг другу: снижение затрат способно увеличить продолжительность работ, а максимизация производительности может сопровождаться ростом расхода топлива.

Третьим элементом модели является система ограничений [2, 4, 6]. Она обеспечивает технологическую и физическую реализуемость найденного решения. Объём выполненных работ должен быть не меньше заданной потребности; число назначенных машин не может превышать имеющийся парк; фонд рабочего времени и численность механизаторов имеют пределы; продолжительность операций должна укладываться в агротехнические сроки. При формировании состава МТП дополнительно учитываются финансовые ограничения.

Результаты анализа позволяют выделить несколько взаимосвязанных классов математических моделей оптимизации МТП. Их различие определяется, прежде всего, видом принимаемого решения, составом ограничений и выбранным критерием эффективности.

Модель оптимального состава машинно-тракторного парка. Одной из наиболее значимых задач является определение рационального состава МТП [2, 9]. Необходимо установить, сколько тракторов, комбайнов и сельскохозяйственных машин различных типов требуется предприятию для выполнения планируемого объёма работ. В качестве переменных принимается количество единиц техники каждого типа, а целевая функция может отражать приведённые или эксплуатационные затраты.

Для базовой задачи формирования парка можно использовать обозначения: x_i – количество машин i-го типа; a_{ij} – производительность машины i-го типа при выполнении операции j; b_j – необходимый объём операции j; c_i – затраты на использование единицы машины i-го типа. Тогда модель имеет вид [2, 14]:

$$F(x) = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \to min, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_i \geq b_j, j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

а также ресурсных ограничениях и условиях целочисленности:

$$x_i \in Z. \quad (4)$$

Для учёта сроков вводится ограничение:

$$T_j \leq T_j^{max}, \quad (5)$$

где T_j – расчётная продолжительность операции, а T_j^{max} – максимально допустимая продолжительность, Z – множество целых чисел. При использовании нескольких агрегатов продолжительность операции уменьшается с ростом их количества.

Особенность данной задачи заключается в дискретности переменных [18, 19]. Поэтому модель относится к классу целочисленных либо смешанных целочисленных задач. Ограничения по объёму работ связывают количество машин с их производительностью, а финансовые и трудовые ограничения определяют допустимое множество решений.

Практическое значение модели состоит в возможности сравнивать варианты комплектования хозяйства. Один вариант может предусматривать большее количество менее производительных машин, другой – меньшее количество высокопроизводительных агрегатов. Оптимизационная модель позволяет сопоставить такие варианты по совокупным затратам и возможности выполнения всех работ в установленные сроки.

Модель распределения техники по технологическим операциям. Даже при фиксированном составе парка остается задача распределения техники между работами с экономическим обоснованием [13**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В течение одного производственного периода одни и те же тракторы могут потребоваться для вспашки, культивации, посева,

внесения удобрений и других операций. Если потребности совпадают по времени, возникает дефицит доступных машин, поэтому требуется определить такое распределение, которое обеспечит выполнение всего комплекса работ.

В модели распределения переменными являются назначения машин или агрегатов на технологические операции. Целевая функция может минимизировать эксплуатационные затраты, расход топлива либо время выполнения работ [11]. Основное ограничение связано с необходимостью выполнить заданный объём каждой операции. Дополнительно вводится условие, что число назначенных машин не превышает фактическое количество техники на предприятии.

Тогда целевая функция, например, при минимизации эксплуатационных затрат может быть записана [17]:

$$F(x) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij} \rightarrow min, \quad (6)$$

где c_{ij} – затраты на использование машины i-го типа при выполнении операции i,

x_{ij} – количество машин i-го типа, назначенных на выполнение технологической операции j.

Основное ограничение связано с необходимостью выполнить заданный объем каждой операции:

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_{ij} \geq b_j j = 1, \dots, m, \quad (7)$$

При этом число назначенных машин не должно превышать фактическое количество техники на предприятии:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \leq X_i, i = 1, \dots, n, \quad (8)$$

где X_i – общее количество машин i-го типа, имеющееся на предприятии.

Для количества назначенных машин также может быть установлено условие:

$$x_{ij} \in Z_{\geq 0}, \quad (9)$$

Данный класс задач может быть представлен как транспортная задача или задача назначения [14]. Подобная постановка особенно актуальна в периоды сезонной нагрузки, когда несколько операций необходимо выполнять одновременно или в короткие агротехнические сроки.

Модели сроков выполнения работ и технологических маршрутов. Соблюдение сроков является не менее важным критерием, чем экономичность [13]. Для каждой технологической операции задаётся объём работы, производительность агрегата и максимально допустимая продолжительность. При увеличении количества агрегатов продолжительность выполнения операции сокращается, однако одновременно увеличиваются потребность в технике и эксплуатационные затраты. Таким образом, возникает компромисс между экономичностью и оперативностью.

Продолжительность выполнения j-й операции можно определить через объём работы и суммарную производительность техники [16]:

$$T_j = \frac{b_j}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_{ij}}, \quad (10)$$

При этом продолжительность должна соответствовать установленному агротехническому сроку:

$$T_j \le T_j^{max}, \tag{11}$$

Если необходимо учитывать начало выполнения операции, можно задать временной интервал:

$$t_j^{нач} + T_j \le t_j^{кон}, \tag{12}$$

где $t_j^{нач}$ – момент начала выполнения операции,

$t_j^{кон}$ – предельный момент её окончания.

Более сложная модель может учитывать последовательность операций, перемещение техники между полями и время на холостые переезды. В этом случае к производственной части добавляется логистическая составляющая. Географическое расположение полей и расстояние между ними становятся параметрами оптимизации маршрута. Использование ГИС позволяет учитывать цифровую карту полей, их площади, удаленность от хозяйственного центра и другие характеристики [10].

Модель минимизации эксплуатационных затрат. Экономическая составляющая является одним из центральных элементов оптимизации МТП [10]. Совокупные эксплуатационные затраты включают расходы на топливо, техническое обслуживание и ремонт, оплату труда механизаторов, амортизацию и другие расходы.

В обобщенном виде:

$$C = C_{топл} + C_{тр} + C_{рем} + C_{ам} \to min, \tag{13}$$

где $C_{топл}$ – затраты на топливо;

$C_{тр}$ – затраты на оплату труда;

$C_{рем}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание;

$C_{ам}$ – амортизационные затраты.

Модель позволяет сравнивать альтернативные варианты эксплуатации техники. При этом минимизация затрат не должна выполняться изолированно от технологических требований. Вариант с минимальными расходами не может считаться приемлемым, если он не обеспечивает выполнение работ в установленные сроки.

Многокритериальная модель оптимизации. На практике оценка МТП по одному показателю недостаточна. Снижение эксплуатационных расходов может сопровождаться увеличением времени выполнения работ, а повышение производительности – ростом топливных затрат. Поэтому более реалистичным является многокритериальный подход.

Для многокритериальной постановки может применяться взвешенная функция [1]:

$$F = \sum_{k=1}^{p} w_k f_k(x) \to min, \tag{14}$$

где $f_k(x)$ – отдельный критерий,

w_k – его весовой коэффициент.

Перед объединением критерии необходимо привести к сопоставимому масштабу. Такой подход позволяет учитывать приоритеты конкретного хозяйства.

В качестве критериев могут рассматриваться затраты, расход топлива, продолжительность работ, простои, производительность, коэффициент использования техники и затраты труда. При использовании сводной функции каждому критерию присваивается вес с учётом его относительной значимости.

Для обеспечения практической реализуемости полученного решения многокритериальная модель должна учитывать систему ограничений. Прежде всего, необходимо обеспечить выполнение заданного объёма сельскохозяйственных работ:

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}x_{ij} \geq b_j, j = 1, \dots, m, \quad (15)$$

где a_{ij} – производительность машины i-го типа при выполнении операции j,

x_{ij} – количество машин, назначенных на операции.

j, а b_j – необходимый объём соответствующей работы. В том числе необходимо выполнение условия (8).

Количество техники, одновременно распределяемой между технологическими операциями, не должно превышать фактически имеющийся парк:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \leq X_i, i = 1, \dots, n, \quad (16)$$

где X_i – количество машин i-го типа, имеющееся на предприятии.

Дополнительно необходимо учитывать ограничения по продолжительности технологических операций:

$$T_j \leq T_j^{max},, j = 1, \dots, m, \quad (17)$$

где T_j – расчётная продолжительность выполнения операции, а T_j^{max} – максимально допустимая продолжительность.

При этом продолжительность операции может определяться следующим образом:

$$T_j = \frac{b_j}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}x_{ij}}, \quad (18)$$

Для учёта финансовых ограничений может использоваться условие:

$$\sum_{i=1}^{n} c_i x_i \leq C_{max}, \quad (19)$$

где c_i – затраты на использование машины i-го типа,

C_{max} – максимально допустимый объём затрат.

Для переменных, характеризующих количество машин или агрегатов, необходимо учитывать условие неотрицательности и целочисленности:

$$x_{ij} \in Z_{\geq 0}. \quad (20)$$

Важным результатом многокритериальной оптимизации является понятие множества Парето. Решение относится к Парето-оптимальным, если улучшение одного критерия невозможно без ухудшения, хотя бы одного другого. Для руководителя хозяйства это означает, что математическая модель может предложить несколько эффективных альтернатив.

Совершенствование моделей оптимизации МТП с учётом многоуровневой структуры и экстремальных условий. Рассмотренные модели позволяют

решать отдельные задачи формирования и использования машинно-тракторного парка, однако для практического применения в условиях сельскохозяйственного предприятия их целесообразно дополнить многоуровневой структурой и возможностью учёта изменяющихся условий выполнения работ. Это связано с тем, что решения по составу МТП, распределению техники и оперативному планированию взаимосвязаны и принимаются на различных уровнях управления.

В многоуровневой модели целесообразно выделить три взаимосвязанных уровня: стратегический, тактический и оперативный.

На стратегическом уровне определяется состав машинно-тракторного парка и структура его основных средств. На данном уровне учитываются долгосрочные ограничения по стоимости приобретения техники, производственным потребностям и возможностям предприятия.

На тактическом уровне определяется распределение имеющейся техники между технологическими операциями:

На оперативном уровне осуществляется корректировка плана с учётом фактических условий выполнения работ. В качестве переменных могут выступать время начала операций, количество техники, направленной на конкретное поле, а также маршруты перемещения машин.

Таким образом, многоуровневая модель может быть представлена в общем виде трёх целевых функций с ограничениями: F_1 характеризует решения стратегического уровня, F_2 – тактического уровня, а F_3 – оперативного уровня.

При этом решения верхнего уровня должны определять допустимые границы решений нижнего уровня. Например, количество техники, которое может быть распределено между технологическими операциями на тактическом уровне, ограничивается составом парка, определённым на стратегическом уровне.

Важным направлением совершенствования модели является учёт различных условий функционирования МТП. Параметры сельскохозяйственного производства могут существенно изменяться в зависимости от погодных условий, состояния почвы, технического состояния машин, сроков проведения работ и других факторов. Поэтому вместо единственного набора исходных данных, который можно отнести к усреднённым условиям, целесообразно рассматривать несколько возможных сценариев в зависимости от условий деятельности товаропроизводителя [6, 7, 8].

В простейшем случае можно выделить: сценарий S_1 – благоприятные условия выполнения работ; сценарий S_2 – неблагоприятные или экстремально сложные условия выполнения работ.

Для каждого сценария значения основных параметров модели (1)-(5): $a_{ij}^{(s)}, b_j^{(s)}, T_j^{max(s)}, c_{ij}^{(s)}$ изменяются в зависимости от рассматриваемого сценария s.

Например, в благоприятных условиях производительность техники может принимать одно значение, а при неблагоприятных условиях другое, которое значительно ниже первого [6]:

$$a_{ij}^{(2)} > a_{ij}^{(1)}. \quad (21)$$

В результате продолжительность выполнения операции будет различаться для разных сценариев:

$$T_j^{(s)} = \frac{b_j}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}^{(s)} x_{ij}}. \quad (22)$$

Для каждого сценария должно выполняться условие соблюдения агротехнических сроков:

$$T_j^{(s)} \leq T_j^{max(s)}. \quad (23)$$

При этом для неблагоприятного сценария модель должна предусматривать возможность увеличения количества техники, изменения распределения агрегатов или переноса части работ на другие временные интервалы.

Более устойчивую модель можно сформировать таким образом, чтобы выбранный состав МТП обеспечивал выполнение работ сразу для нескольких возможных сценариев. В этом случае ограничения записываются по аналогии с [6]:

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}^{(s)} x_{ij} \geq b_j^{(s)}, s = 1, \dots, S. \quad (24)$$

где S – количество рассматриваемых сценариев, к которым можно отнести экстремальные ситуации.

Таким образом, совершенствование модели заключается в переходе от оптимизации МТП для одного фиксированного набора условий к многоуровневой и сценарной оптимизации. На стратегическом уровне определяется состав парка, на тактическом – распределение техники, а на оперативном – конкретный план выполнения работ. Одновременно сценарный подход позволяет оценивать полученное решение, как при благоприятных, так и при неблагоприятных условиях эксплуатации.

Особое значение такой подход приобретает при планировании сельскохозяйственных работ в условиях неопределённости. Решение, полученное только для нормальных условий, может оказаться недостаточным при снижении производительности техники или сокращении доступного времени выполнения операций. Поэтому учёт экстремальных сценариев позволяет повысить устойчивость сформированного плана и снизить риск нарушения технологических сроков.

Алгоритмическое обеспечение моделей. Выбор алгоритма определяется видом модели и её размерностью. Для линейных задач могут использоваться симплекс-метод и методы внутренней точки. Для транспортных постановок могут применяться методы построения начального решения, в том числе метод Фогеля, с последующим доведением до оптимума методом потенциалов.

Для задач формирования состава МТП целесообразны методы целочисленного программирования. Одним из основных является метод ветвей и границ. Сначала решается ослабленная задача, затем при получении дробного значения пространство решений разделяется на подзадачи. Варианты,

которые заведомо не могут улучшить текущий результат, отбрасываются. Преимущество метода – получение физически реализуемых решений; недостаток – рост вычислительной сложности при увеличении размерности.

При большом числе машин, полей и операций могут применяться эвристические и метаэвристические алгоритмы: генетические алгоритмы, методы роя частиц, муравьиные алгоритмы, имитация отжига и локальный поиск [4]. Генетический алгоритм представляет варианты организации МТП как совокупность решений, после чего выполняются отбор, скрещивание и мутация. Такие методы особенно полезны для сложных многокритериальных задач.

На основании рассмотренных подходов целесообразно использовать комплексный алгоритм оптимизации. Его этапы включают загрузку и проверку данных, формирование перечня операций и допустимых агрегатов, расчет производительности, топлива и затрат, построение модели, выбор алгоритма, получение допустимого решения, проверку сроков и ресурсов, экономическую оценку и формирование окончательного плана.

Программная реализация моделей. Практическая ценность математической модели определяется возможностью её вычислительной реализации. При небольшом количестве машин и операций для построения оптимизационной модели могут использоваться электронные таблицы. Они позволяют хранить исходные параметры, рассчитывать производительность и затраты и формировать ограничения.

При увеличении числа переменных более рациональным становится применение специализированных математических средств и языков программирования. В исходном исследовании рассматриваются *Python* и библиотеки *PuLP*, *SciPy* и *OR-Tools*, а также специализированные решатели [5, 15]. Программная реализация может включать модуль ввода данных, базу характеристик машин, расчётный модуль, модуль формирования модели, оптимизационный модуль, анализ результатов и визуализацию.

Существующие программные решения для оптимизации МТП

Популярные программные продукты [15]:

- *AgroTMS* – система управления техникой с функциями оптимизации маршрутов;
- *Farm Management* – комплекс для планирования работ и учёта ресурсов;
- *FieldManager* – программа для оптимизации распределения задач между техникой.

Специализированные модули:

- ТракторПланер – модуль для расчёта загрузки техники;
- АгроОптимайзер – система оптимизации состава МТП;
- *FieldRoute* – программа планирования маршрутов движения;
- Встроенные решения в системах мониторинга.

Телематические платформы:

- Агросигнал – модуль оптимизации маршрутов;
- *Cropio* – инструменты планирования работ;
- *PCM* Агронавигатор – функции оптимизации использования техники;

- Программы на базе открытого кода.

Python-библиотеки:

- *PuLP* – для линейного программирования;
- *SciPy* – для оптимизации маршрутов;
- *ORTools* – для решения задач распределения.

Перспективной является интеграция оптимизационной модели с базой данных МТП, ГИС и телематикой [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. База данных обеспечивает централизованное хранение характеристик машин. ГИС даёт возможность учитывать пространственные параметры полей и маршрутов. Телематические системы поставляют информацию о местоположении техники, скорости, продолжительности работы, простоях, расходе топлива и пройденном расстоянии. В результате формируется замкнутый цикл «Мониторинг – сбор данных – оптимизация – планирование – выполнение – повторный мониторинг».

Оценка эффективности полученного решения. После вычисления оптимального плана необходимо проверить не только математическую допустимость решения, но и его практическую эффективность. Основными показателями оценки являются общие эксплуатационные затраты, затраты на единицу работы, расход топлива, продолжительность операций, коэффициенты использования техники и рабочего времени, количество простоев и производительность агрегатов.

Экономический эффект можно определить сравнением затрат при традиционном планировании $C_{традиц}$ и после применения оптимизационного алгоритма $C_{опт}$ [2]:

$$E = C_{традиц} - C_{опт}. \quad (25)$$

Положительное значение E означает снижение затрат по сравнению с исходным вариантом. Дополнительно может рассчитываться относительное снижение затрат.

Таким образом, основной результат применения моделей заключается не только в получении формально оптимального набора переменных. Более важным является формирование практически реализуемого плана, который одновременно учитывает технологические сроки, доступность техники, трудовые и топливные ресурсы и экономические ограничения.

Заключение. Проведённый анализ моделей оптимизации машинно-тракторного парка показывает, что математическое моделирование является эффективным инструментом обоснования решений по формированию и использованию технических ресурсов сельскохозяйственного предприятия.

Наиболее существенными задачами являются определение оптимального состава МТП, распределение техники между технологическими операциями, планирование сроков и маршрутов выполнения работ, минимизация эксплуатационных затрат и поиск компромиссного решения по нескольким критериям.

Для формирования состава парка наиболее характерны целочисленные модели, поскольку количество тракторов, комбайнов и других машин имеет

дискретную природу. Для распределения техники могут использоваться линейные, транспортные и постановки по назначению. Экономическая составляющая выражается через минимизацию затрат на топливо, труд, ремонт и техническое обслуживание и амортизацию.

Реальное сельскохозяйственное производство характеризуется множеством взаимосвязанных критериев и неопределённостью внешних условий. Поэтому перспективным является многокритериальный подход, позволяющий учитывать не только затраты, но и сроки, производительность, простои, расход топлива и загрузку техники. При сложной структуре задачи применение эвристических и метаэвристических алгоритмов расширяет возможности поиска эффективных решений.

Важным направлением дальнейшего развития является объединение математических моделей с программными средствами. Электронные таблицы могут быть достаточны для небольших задач, однако для крупного МТП целесообразно использовать специализированные оптимизационные модули, базы данных, ГИС и телематические системы.

Перспективная информационная система должна обеспечивать актуализацию данных о машинах и полях, расчёт производительности и эксплуатационных показателей, формирование математической модели, запуск оптимизационного алгоритма, проверку ограничений и представление результата пользователю в виде плана распределения техники и календаря работ.

Одним из направлений улучшения рассмотренных моделей является разработка многоуровневых моделей, позволяющих оптимизировать машинно-тракторный парк, учитывая разные условия деятельности сельскохозяйственных предприятий: усредненные, неблагоприятные и благоприятные.

Кроме того, практическое значение имеет решение задачи создания программного комплекса, позволяющего решать комплекс задач, связанных с оптимизацией МТП и его использованием.

Список литературы

1. *Белякова, А.Ю.* Многокритериальная параметрическая оптимизация получения продовольственной продукции / *А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина, Я.М. Иваньо* //Инженерный вестник Дона. 2024. № 6 (114). С. 154-169.

2. *Бондаренко, Н.Г.* Эксплуатация машинно-тракторного парка : практикум / *Н.Г. Бондаренко* – Киев : Вища школа, 1978. – 143 с.

3. Влияние климатических условий на эффективность использования машинно-тракторного парка в агропромышленном комплексе / *А.Б. Иванников, И.В. Деменок, Н.В. Кононенко, А.С. Ильиченков* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2026. – Т. 56. - № 1 (326). – С. 95-106.

4. *Гаспарян, С.В*. Оптимизация параметров полей в севообороте с позиции машинно-тракторного парка / *С.В. Гаспарян, В.А. Макаров, А.Н. Зазуля* // Наука в центральной России. 2026. - № 2 (80). – С. 31-37.

5. *Зубина, В.А.* Обзор и анализ методов оптимизации и компьютерных программ для повышения эффективности МТП / *В.А. Зубина* // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – Вып. 1 (41). – С. 26-32.

6. *Иваньо, Я.М.* Информационные технологии многоуровневого моделирования в решении управленческих задач аграрного производства / *Я.М. Иваньо, С.А. Петрова В.В.*

Цыренжапова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2025. – Т. 21. - № 3. – С. 604-613.

7. *Иваньо, Я.М.* Многоэтапная многоуровневая оптимизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции / *Я.М. Иваньо, Л.С. Ананьев* // System Analysis and Mathematical Modeling. – 2026. – Т. 8. - № 1. – С. 58-71. – DOI 10.17150/2713-1734.2026.8(1).58-71.

8. *Иваньо, Я.М.* Об оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур в изменчивых условиях внешней среды / *Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, М.Н. Полковская* ; Вестник ИрГСХА. – 2022. - № 4 (111). – С. 19-30.

9. *Иваньо, Я.М.* Различные постановки задачи оптимизации машинно-тракторного парка / *Я.М. Иваньо, В.Д. Коваливнич* // Информационные и математические технологии в науке и управлении / Труды XVIII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть II. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2013. – С. – 206-212.

10. *Иофинов, С.А.* Эксплуатация машинно-тракторного парка / *С.А. Иофинов, Г.П. Лышко* – М. : Колос, 1984.

11. *Киртбая, Ю.К.* Организация использования машинно-тракторного парка / *Ю.К. Киртбая* – М. : Колос, 1974. – 287 с.

12. *Линд, А.В.* Технологические и технические предпосылки оптимизации параметров машинно-тракторных агрегатов : Вестник КрасГАУ / *А.В. Линд* – 2017. - № 3. – С. 75-78.

13. *Малыха, Е.Ф.* Экономическое обоснование оптимального состава машинно-тракторного парка в растениеводстве / *Е.Ф. Малыха, Ю.В. Катаев* // Экономика сельского хозяйства России. 2019. - № 3. – С. 76-80.

14. *Маслов, Г.Г.* Эксплуатация машинно-тракторного парка : учебное пособие / *Г.Г. Маслов, Е.М. Юдина, Н.А. Ринас* – 2022. – 205 с.

15. Обзор программных комплексов для повышения эффективности работы уборочно-транспортного комплекса / *В.А Дудкин, Г.С Гребенцов, И.И Курбаков* // журнал E-Scio - 2021. – (65) – С. 2-15.

16. *Патрин, А.В.* Эксплуатация машинно-тракторного парка : учебное пособие / *А.В. Патрин* – Новосибирск : Золотой колос, 2014. – 118 с.

17. *Ряднов, А.И.* Эксплуатация машинно-тракторного парка : учебное пособие / *А.И. Ряднов, Р.В. Шарипов, С.В. Тронев* – 2019. – 140 с.

18. *Савченко, О.Ф.* Энергетический мониторинг машинно-тракторного парка сельхозпредприятия на основе информационной модели / *О.Ф. Савченко, О.В. Елкин* // Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 1 (30). С. 124-131.

19. Экологический подход к оптимизации параметров машинно-тракторного агрегата для глубокого рыхления почвы / *К.А. Хафизов, Р.Н. Хафизов, А.А. Нурмиев, И.Г. Галиев Е.И. Байгильдеева* // Вестник Курганской ГСХА. 2023. - № 4 (48). – С. 79-89.

Сведения об авторах

Иваньо Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, здание 1/1, тел.: 8(3952)237431, e-mail: iymex@rambler.ru).

Борик Степан Андреевич – аспирант кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, здание 1/1, тел.: 8(3952)237431, e-mail: prostostipa@mail.ru).

Information about the authors

Ivanyo Yaroslav M. – doctor of technical sciences, professor at the department of informatics and mathematical modeling, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agricultural university (Bldg. 1/1, Molodezhny, Molodezhnoye R.S., Irkutsk MD, Irkutsk region, Russia, 664038; tel.: +7(3952)237431; e-mail: iymex@rambler.ru).
Borik Stepan A. – postgraduate student at the department of informatics and mathematical modeling, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agricultural university (Bldg. 1/1, Molodezhny, Molodezhnoye R.S., Irkutsk MD, Irkutsk region, Russia, 664038; tel.: +7(3952)237431; e-mail: prostostipa@mail.ru).

УДК 378.14.015.62

МОТИВЫ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ

Т.А. Алтухова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-н, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Данная тема является актуальной, так как мотивация является одним из важнейших вопросов нашего времени. В настоящий момент большое количество молодых людей изъявляет желание учиться в вузах. Однако мотивации у всех различные: у кого-то вуз является необходимым для будущего трудоустройства, кому-то нравятся лишь отдельные предметы, кто-то поступает в вуз лишь ради весёлого окружения [8, 9]. К тому же сейчас по результатам ЕГЭ можно подать документы сразу на несколько специальностей, и абитуриенты поступают на те факультеты, куда они прошли по баллам. В итоге может получиться, что человек с гуманитарным складом ума учится на математической специальности и получает плохие отметки, так как мотивация – это также один из факторов успешного обучения.

Ключевые слова: мотив, обучение, студент, образование, диагностика, учёба, тест, методы обучения, способности.

MOTIVES FOR STUDENTS' LEARNING AT A UNIVERSITY

T.A. Altukhova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. This topic is relevant, as motivation is one of the most important issues of our time. Currently, a large number of young people express a desire to study at universities. However, everyone has different motivations: for some, university is necessary for future employment, for others, they like only certain subjects, and for others, they go to university just for the sake of a fun environment. In addition, now, according to the results of the Unified State Exam, it is possible to apply for several specialties at once, and applicants enter those faculties where they passed according to their scores. As a result, it may turn out that a person with a humanities mindset study in a mathematics field and gets poor grades, since motivation is also one of the factors of successful learning.

Key words: motivation, learning, student, education, diagnostics, studies, test, teaching methods, abilities.

Взгляды на сущность мотива у психологов существенно расходятся. Но, несмотря на это, все они сходятся в одном: за мотив принимается какой-то один конкретный психологический феномен (но разный у разных авторов). В основном психологи группируются вокруг следующих точек зрения на мотив: как на побуждение, на потребность, на цель, на намерение, на свойства личности, на состояния. Ниже анализируется каждое из этих представлений [5, 6, 7].

Ещё с прошлого века мотив многими психологами трактовался как побудительная (движущая) сила, как побуждение. При этом нестрогость в

использовании понятий привела к тому, что за мотив стала приниматься любая причина, вызывающая побуждение, а не только само побуждение. Отсюда мотивами стали любые стимулы, а «Побудитель» и «Побуждение» стали синонимами. При этом биологи, физиологи и психологи-бихевиористы за мотив в основном принимали внешний стимул (даже И.М. Сеченов писал, что первая причина всякого человеческого действия лежит вне его). Между тем Г. Олпорт справедливо отмечает, что в качестве объектов, побуждающих деятельность человека, могут выступать и отсутствующие (представляемые или воображаемые) объекты. Таким образом, побудителей (детерминант) поведения может быть много, и они могут быть как внешними, так и внутренними (например, боль) [3, 4].

Студенчество – отдельная возрастная категория.

Студенческий возраст представляет собой особый период жизни человека. Заслуга самой постановки проблемы студенчества как особой социально-психологической и возрастной категории принадлежит психологической школе Б.Г. Ананьева. В исследованиях Л.А. Барановой, М.Д. Дворяшиной, 1976; Е.И. Степановой, 1975; Л.Н. Фоменко, 1974; а также в работах Ю.Н. Кулюткина, 1985, В.А. Якунина, 1994 и др. накоплен большой эмпирический материал наблюдений, приводятся результаты экспериментов и теоретические обобщения по этой проблеме [2].

При массовом переходе на многоуровневую структуру подготовки в вузе специалистами вузовского образования отмечается, что для достижения высокого уровня научно-практической подготовки студентов необходимо решить две главные проблемы: обеспечить возможность получения студентами глубоких фундаментальных знаний и изменить подходы к организации учебной деятельности с тем, чтобы повысить качество обучения, развить творческие способности студентов, их стремление к непрерывному приобретению новых знаний, а также учесть интересы студентов в самоопределении и самореализации [3].

По методике Реана и Якунина с целью выявления мотивов обучения студентов в вузе, был проведён опрос среди студентов третьего курса энергетического факультета.

Шкалы: учебные мотивы – коммуникативные, избегания, престижа, профессиональные, творческой самореализации, учебно-познавательные, социальные мотивы

Назначение теста: диагностика учебной мотивации студентов.

Описание теста: Методика разработана на основе опросника А.А. Реана и В.А. Якунина. К 16 утверждениям вышеназванного опросника добавлены утверждения, характеризующие мотивы учения, выделенные В.Г. Леонтьевым, а также утверждения, характеризующие мотивы учения, полученные Н.Ц. Бадмаевой в результате опроса студентов и школьников. Это коммуникативные, профессиональные, учебно-познавательные, широкие социальные мотивы, а также мотивы творческой самореализации, избегания неудачи и престижа.

Инструкция к тесту: оцените по 5-балльной системе приведённые мотивы учебной деятельности по значимости для Вас: 1 балл соответствует минимальной значимости мотива, 5 баллов – максимальной.

Тест.

1. Учусь, потому что мне нравится избранная профессия.
2. Чтобы обеспечить успешность будущей профессиональной деятельности.
3. Хочу стать специалистом.
4. Чтобы дать ответы на актуальные вопросы, относящиеся к сфере будущей профессиональной деятельности.
5. Хочу в полной мере использовать имеющиеся у меня задатки, способности и склонности к выбранной профессии.
6. Чтобы не отставать от друзей.
7. Чтобы работать с людьми, надо иметь глубокие и всесторонние знания.
8. Потому что хочу быть в числе лучших студентов.
9. Потому что хочу, чтобы наша учебная группа стала лучшей в институте.
10. Чтобы заводить знакомства и общаться с интересными людьми.
11. Потому что полученные знания позволят мне добиться всего необходимого.
12. Необходимо окончить институт, чтобы у знакомых не изменилось мнение обо мне, как способном, перспективном человеке.
13. Чтобы избежать осуждения и наказания за плохую учебу.
14. Хочу быть уважаемым человеком учебного коллектива.
15. Не хочу отставать от сокурсников, не желаю оказаться среди отстающих.
16. Потому что от успехов в учёбе зависит уровень моей материальной обеспеченности в будущем.
17. Успешно учиться, сдавать экзамены на «4» и «5».
18. Просто нравится учиться.
19. Попав в институт, вынужден учиться, чтобы окончить его.
20. Быть постоянно готовым к очередным занятиям.
21. Успешно продолжить обучение на последующих курсах, чтобы дать ответы на конкретные учебные вопросы.
22. Чтобы приобрести глубокие и прочные знания.
23. Потому что в будущем думаю заняться научной деятельностью по специальности.
24. Любые знания пригодятся в будущей профессии.
25. Потому что хочу принести больше пользы обществу.
26. Стать высококвалифицированным специалистом.
27. Чтобы узнавать новое, заниматься творческой деятельностью.
28. Чтобы дать ответы на проблемы развития общества, жизнедеятельности людей.
29. Быть на хорошем счету у преподавателей.

30. Добиться одобрения родителей и окружающих.

31. Учусь ради исполнения долга перед родителями, школой.

32. Потому что знания придают мне уверенность в себе.

33. Потому что от успехов в учёбе зависит моё будущее служебное положение.

34. Хочу получить диплом с хорошими оценками, чтобы иметь преимущество перед другими.

Обработка и интерпретация результатов теста:

• Шкала 1. Коммуникативные мотивы: 7, 10, 14, 32.
• Шкала 2. Мотивы избегания: 6, 12, 13, 15, 19
• Шкала 3. Мотивы престижа: 8, 9, 29, 30, 34.
• Шкала 4. Профессиональные мотивы: 1, 2, 3, 4, 5, 26.
• Шкала 5. Мотивы творческой самореализации: 27, 28.
• Шкала 6. Учебно-познавательные мотивы: 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24.
• Шкала 7. Социальные мотивы: 11, 16, 25, 31, 33.

Результаты методики:

Тестируемый № 1:
• Шкала 1: 3,5;
• Шкала 2: 3;
• Шкала 3: 3;
• Шкала 4: 3
• Шкала 5: 3;
• Шкала 6: 2,86;
• Шкала 7: 3.

Тестируемый № 2:
• Шкала 1: 3,75;
• Шкала 2: 3,8
• Шкала 3: 3,2;
• Шкала 4: 3,67;
• Шкала 5: 3,5;
• Шкала 6: 3,7;
• Шкала 7: 3,2.

Тестируемый № 3:
• Шкала 1: 4,25;
• Шкала 2: 2,6;
• Шкала 3: 4;
• Шкала 4: 4,5;
• Шкала 5: 4;
• Шкала 6: 4,14;
• Шкала 7: 4.

Тестируемый № 4:
• Шкала 1: 3,75;
• Шкала 2: 1,6;
• Шкала 3: 2;
• Шкала 4: 3,3;
• Шкала 5: 2,5;
• Шкала 6: 3;
• Шкала 7: 2,4.

Тестируемый № 5:
• Шкала 1: 4,5;
• Шкала 2: 2,6;
• Шкала 3: 3,2;
• Шкала 4: 3,3;
• Шкала 5: 4;
• Шкала 6: 4;
• Шкала 7: 2,6.

Тестируемый № 6:
• Шкала 1: 4,5;
• Шкала 2: 3,4;
• Шкала 3: 2,8;
• Шкала 4: 4,5;
• Шкала 5: 4
• Шкала 6: 4,43;
• Шкала 7: 4,4.

Тестируемый № 7:
• Шкала 1: 3,75;
• Шкала 2: 3,8;
• Шкала 3: 3,2;
• Шкала 4: 3,67
• Шкала 5: 3,5;
• Шкала 6: 3,7;
• Шкала 7: 3,2.

Тестируемый № 8:
• Шкала 1: 3,75;
• Шкала 2: 1,6;
• Шкала 3: 2
• Шкала 4: 3,3;
• Шкала 5: 2,5;
• Шкала 6: 3;
• Шкала 7: 2,4.

Тестируемый № 9:
• Шкала 1: 3,5;
• Шкала 2: 3;
• Шкала 3: 3
• Шкала 4: 3;
• Шкала 5: 3;
• Шкала 6: 2,86
• Шкала 7: 3.

Тестируемый № 10:
• Шкала 1: 4,25;
• Шкала 2: 2,6;
• Шкала 3: 4;
• Шкала 4: 4,5;
• Шкала 5: 4;
• Шкала 6: 4,14;
• Шкала 7: 4.

Тестируемый № 11:
• Шкала 1: 4,5;
• Шкала 2: 3,4;
• Шкала 3: 2,8;
• Шкала 4: 4,5;
• Шкала 5: 4;
• Шкала 6: 4,43;
• Шкала 7: 4,4.

Тестируемый № 12:
• Шкала 1: 4,5;
• Шкала 2: 2,6
• Шкала 3: 3,2;
• Шкала 4: 3,3;
• Шкала 5: 4;
• Шкала 6: 4;
• Шкала 7: 2,6.

В результате тестирования, мы выявили, что у всех студентов преобладают коммуникативные мотивы. Это показывает, что большинство студентов поступают и обучаются в вузах для того, чтобы заводить новые знакомства, общаться с интересными людьми и просто расширять свой круг друзей. На втором месте у большинства студентов профессиональные мотивы, и это значит, что всё же, несмотря на большое количество ошибок студентов в выборе факультета, всё же немалое число людей продолжает придерживаться своей цели и выбирает специальность, прогнозируя свой жизненный путь. Однако же учебно-познавательные мотивы занимают лишь третью позицию в ответах студентов.

Учеба всё же не является для них главным фактором для поступления и не захватывает их в течение всего учебного процесса, многие подчеркивают, что не готовятся к каждому занятию, а значит, вуз является для них лишь проходным звеном для вступления во взрослую жизнь, а сам по себе он интересен не для всех студентов.

Дальше приблизительно равномерно идут мотивы творческой самореализации и социальные, а значит, многие молодые люди принимают непосредственное участие в жизни вуза, его мероприятиях, объединениях, собраниях и праздниках.

На предпоследнем месте находятся мотивы престижа, и это свидетельствует о том, что далеко не все студенты заинтересованы в результатах своей учебной и социальной деятельности в вузе. И этот факт подчёркивает невысокую в этом отношении мотивацию студентов к учебе.

На последнем месте находятся мотивы избегания, мотивы, говорящие о том, что студент не имеет целостного представления о специальности, на которой учится, и заинтересован не в ней, а в получении диплома.

Отрицательным фактором здесь является то, что такие люди имеются, а значит, мотивацию студентов нужно повышать, чтобы добиться наибольшего количества учащихся, их наилучших результатов и активного участия в общественной жизни института, а как следствие – высококвалифицированных специалистов, заинтересованных в своей работе, и уверенных в себе, успешных людей. В системе «Обучающий – обучаемый» студент является не только объектом управления этой системы, но и субъектом деятельности. Рассматривая мотивацию учебной деятельности, необходимо подчеркнуть, что понятие *мотив* тесно связано с понятием *цель* и *потребность*.

Учебная мотивация, как и любой другой её вид, **системна**, характеризуется **направленностью, устойчивостью** и **динамичностью** [3]**.** Необходимо условие для создания у студентов интереса к содержанию обучения и к самой учебной деятельности – возможность проявить в учении умственную самостоятельность и инициативность. Чем активнее методы обучения, тем легче заинтересовать ими студентов. Учебный материал и приёмы учебной работы должны быть достаточно (но не чрезмерно) разнообразны. Разнообразие обеспечивается не только столкновением учащихся с различными объектами в ходе обучения, но и тем, что в одном и том же объекте можно открывать новые стороны [1, 2]. Новизна материала –

важнейшая предпосылка возникновения интереса к нему. Однако познание нового должно опираться на уже имеющиеся у студента знания. Использование прежде усвоенных знаний – одно из основных условий появления интереса.

Список литературы

1. *Алтухова Т.А.* Формы и методы обучения, используемые при формировании профессиональных компетенций студентов / *Т.А. Алтухова, С.В. Алтухов* // Потенциал образования для самореализации и развития талантов у молодежи: Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной Году педагога и наставника, Иркутск, 20 января 2023 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 4-8. – EDN NBPJWP.

2. *Алтухова Т.А.* Анализ результатов развития творческих способностей при использовании игровых технологий / *Т.А. Алтухова, С.В. Алтухов* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский ГАУ, 03-04 октября 2024 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 350-355. – EDN ITWTLI.

3. *Алтухов, С.В.* Особенности формирования внутренней учебной мотивации студентов инженерного факультета Иркутского ГАУ / *С.В. Алтухов* // Приднепровский научный вестник. – 2025. – Т. 2, № 5. – С. 103-107. – EDN BDHMFS.

4. *Степанова, В.В.* Эмоциональная безопасность учащихся: профилактика преодоления буллинга / *В.В. Степанова, М.В. Чубарева* // Безопасность в техносфере: Материалы Международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 27 марта 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 214-216. – EDN ALIJFX.

5. *Павлов, С.В.* Межличностные отношения в системе жизнедеятельности людей / *С.В. Павлов, Т.А. Алтухова* // Безопасность в техносфере : Материалы международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Молодежный, 27 марта 2026 года. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 566-570. – EDN LHXMPX.

6. Психология: учебное пособие / *Т.А. Алтухова, М.В. Чубарева, М.П. Таханов, А.Р. Сухаева*. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2026. – 102 с. – EDN SZYWJP.

7. *Любимова, Е.И.* Стресс и его влияние на работоспособность инженеров в агросекторе / *Е.И. Любимова, Т.А. Алтухова* // Безопасность в техносфере : Материалы Международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 27 марта 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 211-214. – EDN KPAAIC.

8. *Коровина, Т.С.* Исследование мотивации студентов вуза / *Т.С. Коровина, М.В. Чубарева* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, п. Молодежный, 20-21 февраля 2025 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 1109-1113. – EDN SPOMAK.

9. *Самарина, В.Е.* Анализ методик диагностики учебной мотивации обучающихся / *В.Е. Самарина, М.В. Чубарева* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию Иркутскому ГАУ, Молодежный, 15-16 февраля 2024 года. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 1040-1044. – EDN CBUTFQ.

Сведения об авторе

Алтухова Татьяна Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машинно - тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения, инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 890257882289, e-mail: altukhova@bk.ru).

Information about the author

Altukhova Tatyana A. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of machine and tractor fleet operation, life safety and professional training, engineering faculty. Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, tel.: 890257882289, e-mail: altukhova@bk.ru).

УДК 632.9:633.1

ТЕХНОЛОГИЯ SCAFFOLDING ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ АГРОИНЖЕНЕРИЯ АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ

А.В. Анненкова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье описывается технология «Строительных лесов» и её применение в обучении профессиональному английскому языку студентов-инженеров сельскохозяйственного профиля. В статье показаны различные типы данной образовательной технологии; основное внимание уделяется ключевым характеристикам и принципам техники, рассматриваются основные стратегии и требования, подводные камни и трудности. После общего описания технологии автор приводит конкретный пример реализации метода при обучении английскому языку студентов-агроинженеров для конкретных целей.

Ключевые слова: метод «Строительных лесов», английский для профессиональных целей, студенты агроинженерных направлений подготовки, стратегия обучения, этапы.

INSTRUCTIONAL SCAFFOLDING IN TEACHING ENFGLISH TO STUDENTS OF AGRICULTURAL ENGINEERING

A.V. Annenkova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article describes scaffolding technique and its implementation in teaching professional English for agricultural engineering students. It shows various types of the technology, focuses on key characteristics and principles of the technique, covers basic strategies and requirements, pitfalls and challenges. Following the general description of the technology, the author gives a specific example of implementing the method in teaching agricultural engineering students English for specific purposes.

Key words: scaffolding technique, ESP, students of agricultural engineering, teaching strategy, steps.

Scaffolding technique in teaching is an instructional approach in which a teacher provides structured support to help learners accomplish tasks they could not complete independently, and then gradually removes that support as learners become more competent. The concept originates from the work of psychologist Jerome Bruner and is closely related to Vygotsky's Zone of Proximal Development (ZPD) [3, 4, 5, 8, 9, 10].

Scaffolding is a temporary pedagogical support system that enables learners to move from their current level of understanding to a higher level of competence through guided instruction. Thus, the key principle of this technique is that support is adaptive, temporary, and gradually withdrawn to promote learner autonomy. It does not mean "doing everything for the student" – the goal is to help the student develop independence, not just to provide them with ready-made answers.

Scaffolding is based on the idea that effective learning occurs in the Zone of Proximal Development (ZPD) which is the gap between what a learner can do independently and what a learner can do with guidance. The teacher's role is to provide the right level of assistance to bridge this gap [2, 6].

Below there are key characteristics of scaffolding.

1. Contingency (adaptive support)

Support depends on learner needs and current performance. The teacher engages the student in completing the task, for example, through a game, an interesting assignment, or a dialogue.

2. Fading (gradual removal of support)

Assistance decreases as competence increases. The teacher shows the student different ways to solve problems so that the student understands exactly what is expected of them.

3. Transfer of responsibility

Responsibility shifts from teacher to student. The teacher takes on part of the task so that the student can focus on the main thing and better understand the solution process.

4. Structured progression

Complex tasks are broken into manageable steps. The teacher helps the student see the discrepancies between their work and the correct solution [1].

Common scaffolding strategies include:

1. Modeling. The teacher demonstrates how to perform a task.

For example, the teacher demonstrates how to structure an academic argument – students observe and analyze the structure.

2. Think-aloud technique. The teacher verbalizes thinking processes.

For example, "I identify the key concept first, then I compare definitions, then I evaluate evidence".

3. Guided practice. Students practice with teacher support.

For example, the teacher asks leading questions and provides hints rather than answers.

4. Chunking. The teacher breaks complex material into smaller units.

For example, instead of writing a full essay students complete the task step by step:

Step 1: thesis;

Step 2: outline;

Step 3: paragraph structure;

Step 4: full text.

5. Prompting and questioning. The teacher uses strategic questions to guide thinking.

The questions can be of the following types: conceptual prompts, procedural prompts and metacognitive prompts.

For example: What evidence supports this claim? Why did you choose this method?

6. Graphic organizers. The teacher provides students with visual structures.

For example, concept maps, flowcharts, tables and argument diagrams can be used.

7. Sentence frames and language scaffolds (This strategy is especially important in EMI and CLIL contexts).

For example:

• The main reason is…

• The data suggests that…

• In contrast to…

8. Worked examples. The teacher provides the student with partially completed tasks.

For example, the teacher solves one problem fully, second partially, third students solve independently.

Beside a number of scaffolding strategies, there are several types of scaffolding techniques.

1. Cognitive scaffolding. This type of scaffolding supports thinking processes and includes concept maps, guiding questions, problem-solving frameworks.

2. Linguistic scaffolding. This type of scaffolding supports language production and deals with vocabulary lists, sentence starters, discourse markers.

3. Procedural scaffolding. This type of scaffolding supports task management and provides instructions, checklists, timelines.

4. Metacognitive scaffolding. This type of scaffolding supports learning awareness and includes reflection questions and self-assessment rubrics.

Schematically and gradually the implementation of the technique can be introduced in the following way. For example, the task for students is to learn to analyze an engineering case.

Stage 1 – High support:

Teacher explains analytical framework and provides example analysis;

Stage 2 – Medium support:

Students analyze with guiding questions and the teacher provides feedback;

Stage 3 – Low support:

Students analyze independently and participate in peer discussion;

Stage 4 – Independent performance:

Students complete analysis alone [9].

Experience shows that there are certain benefits of using instructional scaffolding in the teaching process. It improves learning efficiency, reduces cognitive overload, builds learner confidence, develops independent learning skills and supports differentiated instruction.

However, there are potential risks if the technique is poorly implemented. Particularly, if there is too much support, it can lead to student dependency; and vice versa: if there is too little support, it can cause students' frustration. Another pitfall is poor timing of fading. It can be the ground for learning gaps. In general, ineffective learning can be the result of one-size-fits-all scaffolding [7].

Thus, the best practices of effective scaffolding require:

• Clear learning objectives;
• Continuous assessment;
• Flexible support adjustment;
• Planned removal of support;
• Active student participation.

To summarize all said above, effective scaffolding should follow the progression:

Model → Guide → Support → Independence

In other words: **I do → We do → You do together → You do alone**

An agricultural engineering student needs to be able to:

- Read technical manuals for imported agricultural machinery (John Deere, Claas, Lemken);
- Describe the structure of a unit to colleagues in English;
- Understand presentations at conferences on precision farming.

However, when attempting to immediately complete the task "Describe the design and operation of a moldboard plough in English," the student freezes: they lack vocabulary, grammatical structures (passive voice, cause-and-effect relationships), and discursive skills (the structure of a technical description). This is a gap between knowledge of general vocabulary and the ability to generate professional text.

Following is an example of how scaffolding techniques can be implemented when teaching agricultural engineering student professional English.

Step 1. Modelling / worked example

The teacher shows an authentic sample text – a fragment of a technical manual:

"The moldboard plough consists of a share, a moldboard, and a landside. The share cuts the soil, while the moldboard turns it over. As a result, crop residues are buried, and the soil is aerated."

Students don't write; they analyze the passage using a checklist:

• Find all the verbs. What tense and voice are they in? (Present Simple Passive);
• Which words indicate sequence? (first, then, while, as a result);
• How many parts are there in the text? (purpose → structure → operating principle → result).

Key point at this stage is that the sample is not for memorization, but for capturing the structure.

Step 2. Gap-filling / completion

The students are provided with a text about a cultivator, but with gaps. There is a word bank:

share consists is turned as a result while

"The cultivator ___ of a frame, tines, and a roller. The tines loosen the soil, ___ the roller crushes clods. ___, a fine seedbed ___ prepared."

The student reconstructs the text based on the Level 1 model. The supports are still strong, but the student is already generating language.

Step 3. Sentence frames / writing plan

The task is changing: students should describe the seed drill. It is not a text that is given, but a framework plan with speech patterns:

1. **Purpose:** The seed drill is designed to...
2. **Components:** It consists of... / It comprises...
3. **Operation:** First, ... Then, ... While...
4. **Result:** As a result, ... / This allows the farmer to...

The student writes independently, but the structure and key phrases are provided from outside.

Step 4. Questioning / prompts

The student describes the combine harvester independently, but the teacher asks guiding questions if they find it difficult:

"Which part performs the main function? Name it in English."

"Is this an active or a passive action? So, what tense is it?"

"What happens after the grain is separated from the straw?"

"How can these two sentences be linked – by cause or by time?"

The questions do not provide the answer; they guide thinking and activate the necessary vocabulary.

Step 5. Fading

The student receives a new task without support: to prepare an oral presentation (3-4 minutes) on "Precision farming technologies: GPS guidance and variable-rate application" for an imaginary international conference.

Scaffolding is removed - the student acts as an engineer who uses English as a working tool.

The table below summarizes the described technique of teaching agricultural engineering students to work with professional texts (Table 1).

Table 1 – **The mechanism of fading in scaffolding technique**

Level	Teacher's objectives	Student's actions
1	Text + check-list for analysis	Analyses the structure and the language
2	Text with gaps + word bank	Fills in, restores the text
3	Plan + speech patterns	Writes with support
4	Guiding questions	Speaks / writes + answers
5	Topic and communicative goal	Produces text by himself, independently

Using this technique in the educational process, we got the following results:

✓ Language barrier is reducing the when working with professional texts;

✓ Logics of technical descriptions is understanding, rather than memorizing phrases;

✓ There is a gradual transition to self-regulated use of English as a tool for professional communication.

✓ By the end of the module, 75 % of students can deliver a Level 5 presentation without support (compared to 25 % with the traditional approach of "read the text – translate – retell").

It should be noted that scaffolding in ESP for agricultural engineers works when the support is temporary, subject-specific, and gradually withdrawn. The language is not learned in a vacuum - it "fits in" with the existing engineering knowledge: the student knows how a plow works, and scaffolding helps them express this knowledge using English. If the teacher provides ready-made phrases forever, it's not scaffolding, but a cheat sheet. If the supports are withdrawn too early, the student loses both the language and the confidence. The "fading" point is the main methodological challenge.

Scaffolding is a **systematic method of instructional support** that enables learners to master complex skills through guided progression toward independence. It is considered a core technique in modern pedagogy, particularly in higher education, EMI teaching, and competency-based learning.

Список литературы

1. *Анненкова, А.В.* English as a Medium of Instruction for Teachers of Economics : учебное пособие / *А.В. Анненкова*. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2026. – 103 с. – EDN NUCBMA.

2. *Быковских, О.И.* Скаффолдинг как вид педагогической поддержки при реализации предметно-языкового интегрированного обучения [Электронный ресурс] // Научно-методический электронный журнал «Калининградский вестник образования». – 2022. - № 2 (14) / июль. – С. 22-29. – URL: https://koirojournal.ru/realises/ g2022/05jul2022/kvo103/ (дата обращения: 15.09.2026).

3. *Гречина, В.Н.* Применение стратегии скаффолдинга в обучении профессиональному иностранному языку / *В.Н. Гречина* // Педагогические чтения имени А.А. Куманева: Повышение профессиональной компетентности педагогических работников: вызовы, задачи, перспективные решения. Лукоянов : изд-во Лукояновский педагогический колледж им. А.М. Горького. – 2018. – С. 56-59.

4. *Зубрилина, И.В.* Скаффолдинг как образовательная стратегия обучения эффективной коммуникации / *И.В. Зубрилина.* // Вестник ВОИРО. - № 4 (13). – 2024. – С. 130-134.

5. *Королева, Е.В.* Технология скаффолдинг при обучении монологической речи на уроках немецкого языка [Электронный ресурс] / *Е.В. Королева, Т.А. Реднева* // Проблемы современного педагогического образования. – 2020. - № 69. – С. 131-134. URL: https://cyberleninka. ru/article/n/tehnoloqiya-skaffoldinq-pri-obuchenii-monoloqicheskoy-rechi-na-urokah-nemetskoqo-yazyka (дата обращения: 13.09.2026).

6. *Попов, Л.М.* Скаффолдинг – метод актуализации интеллектуально-личностного потенциала субъекта научно-образовательной деятельности [Электронный ресурс] / *Л.М. Попов, П.Н.Устин* // Экопсихологические исследования – 6: экология детства и психология устойчивого развития. – 2020. - . 530-535. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/skaffolding-metod-aktualizatsii-intellektualno-lichnostnogo-potentsiala-subekta-nauchno-obrazovatelnoy-deyatelnosti/viewer (дата обращения: 13.09.2026).

7. *Степанова, А.С.* Скаффолдинг в обучении иностранному языку: опыт систематизации понятия / *А.С. Степанова* // Педагогические и психологические науки: современные

проблемы и тенденции развития: Сборник научных трудов. – Краснодар : Индивидуальный предприниматель Акелян Нарине Самадовна, 2018. – С. 13-17.

8. *Хастаев, В.А.* Методы и стратегии обучения английскому языку для научных целей в неязыковом вузе (на примере Иркутского ГАУ) / *В.А. Хастаев* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, п. Молодежный, 26-27 февраля 2026 года. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 1077-1081. – EDN PBGYJL.

9. *Hammond, J.* Putting scaffolding to work: The contribution of scaffolding in articulating ESL education / *J. Hammond, P. Gibbons* // Prospect. – 2005. – Vol. 20. – No. 1. – P. 6-30.

10. *Walqui, A.* Scaffolding instruction for English language learners: A conceptual framework [Electronic resource] / *A. Walqui* // The International journal of Bilingual Education and Bilingual-ism. – 2006. – Vol. 9. - № 2. – Pp. 159180. – URL: https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/1367005060 8668639?scroll=top&needAccess=true (accessed 15.09.2026).

Сведения об авторе

Анненкова Арина Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой иностранных языков. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 8(914)8768561, e-mail: arinka26@yandex.ru.

Information about the author

Annenkova Arina V. – candidate of pedagogical sciences, associate professor, head of the department of foreign languages. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 8(914)8768561, e-mail: arinka26@yandex.ru.

УДК 378.126

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ИНЖЕНЕРНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ ФГБОУ ВО «АРКТИЧЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Т.И. Афанасьева, В.П. Друзьянова

ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет
Якутск, Россия

Аннотация. В статье проведён анализ состояния агроинженерной науки на инженерном факультет ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» Якутии. Агроинженерное образование на Севере представляет собой уникальное сочетание научного знания и практического опыта, адаптированных к специфическим условиям региона. Суровый климат и особенности природных ресурсов требуют соответствующего подхода к обучению специалистов в области рискованного ведения сельскохозяйственного производства. Именно поэтому вопросы развития агроинженерной науки на Севере, являющейся необходимой базой и основой для реализации эффективных методов преподавания являются весьма важной задачей.

Ключевые слова: инженерное образование, подготовка инженеров, образовательные программы, агроинженерная наука, направления агроинженерной науки, научные исследования, научные кадры.

CURRENT STATE OF RESEARCH AT THE FACULTY OF ENGINEERING OF THE ARCTIC STATE AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY

T.I. Afanasyeva, V.P. Dryuzyanova

FSBEI HE Arctic state agrotechnological university
Yakutsk, Russia

Annotation. The article analyzes the current state of agroengineering science at the faculty of engineering of the Arctic state agrotechnological university in Yakutia. Agroengineering education in the North represents a unique combination of scientific knowledge and practical experience adapted to the specific conditions of the region. The harsh climate and the distinct features of natural resources require a specialized approach to training professionals in the field of high-risk agricultural production. Consequently, advancing agroengineering science in the North, which serves as the essential foundation for implementing effective teaching methods, stands as a highly crucial task.

Key words: engineering education, engineering training, educational programs, agroengineering science, branches of agroengineering science, scientific research, academic staff.

Агроинженерия – это междисциплинарная область, объединяющая инженерные науки и агрономию для создания эффективных, устойчивых и высокопроизводительных аграрных систем. В ФГБОУ ВО «Арктический государственный аграрный университет» (АГАТУ) с 1995 года осуществляется подготовка специалистов по направлению «Агроинженерия».

С 1995-96 уч. года открыта специальность 230100 «Сервис и техническая эксплуатация транспортных машин и технологического оборудования (по направлениям)» [2] и в 1999-2000 уч. г. осуществлён первый выпуск инженеров-механиков по очной форме [1].

Начиная с 1999-2000 уч.г. в соответствии с договором ЯГСХА и Министерством жилищно-коммунального хозяйства республики Саха (Якутия) часть выпускников получают дополнительную специализацию «Теплотехника и применение тепла в сельском хозяйстве» [9].

По специальности 230100 «Сервис и техническая эксплуатация транспортных машин и технологического оборудования в сельском хозяйстве» с 1997г. были открыты специализации:

- 230101 «Организация и технология технического сервиса (экономика технического сервиса; организация технического сервиса; проектирование предприятий технического сервиса; технология ремонта машин; эксплуатация МП; транспорт в сельском хозяйстве)»;

- Электрификация и автоматизация сельскохозяйственных технологических процессов [23].

С 2000 г начата подготовка по специальности 110304.65 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК». С 2014 г. – 311900 Технология

обслуживания и ремонта машин в АПК со специализациями: 311901 «Организация и технология технического сервиса»; 311903 «Сервис оборудования перерабатывающих предприятий»; 311906 «Теплотехническое и энергетическое оборудование в АПК». В 2003 году при кафедре была открыта аспирантура по специальности 01.02.06. «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры». В 2008 г открыли специальность 110301.65 «Механизация сельского хозяйства». А в 2009 г, в связи с переходом на двухуровневое образование, начата подготовка по направлению бакалавриата – 110800.62 «Агроинженерия» [23].

На инженерном факультете в 2010 г были открыты следующие специальности: «Природообустройство и водопользование» и «Лесное хозяйство».

С 2014 г. на факультете реализуются следующие направления:

• 20.03.02 Природообустройство и водопользование, профиль – мелиорация, рекультивация и охрана земель;

• 21.03.02 Землеустройство и кадастры, профиль – управление земельными ресурсами;

• 35.03.01 «Лесное дело» (профиль – рациональное многоцелевое использование лесов);

• 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» (профиль - леоинженерное дело);

• 35.03.06 «Агроинженерия» (профили – технологические системы в агробизнесе, технический сервис в агропромышленном комплексе, энергообеспечение и теплотехническое оборудование в сельском хозяйстве);

• 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения [23].

В 2017 году получена лицензия на специальность среднего профессионального образования 13.02.02 «Теплоснабжение и теплотехническое оборудование» [8].

В этом же году открыты два профиля по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» – «Энергообеспечение и теплотехническое оборудование в сельском хозяйстве» и «Информационные системы и технологии».

В 2019 г получена лицензия по программе подготовки кадров высшей квалификации по программе аспирантуры 35.06.04 «Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» [6].

В 2020 г начался приём по новым для факультета направлениям подготовки бакалавриата [3]:

• 09.03.02 Информационные системы и технологии (кафедра информационных и цифровых технологий) [5];

• 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (кафедра энергообеспечение в АПК) [7];

• 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (кафедра энергообеспечение в АПК) [7];

• 05.03.02 Технологические машины и оборудование (кафедра технические системы в АПК [4];

• Программе магистратуры: 35.04.06 Агроинженерия [4].

Известно, что по направлению «Агроинженерия» принята следующая классификация по восьми основным блокам:

- Машины и оборудование в АПК (механизация);
- Электрификация и автоматизация технологических процессов;
- Цифровые технические системы и искусственный интеллект;
- Технический сервис и эксплуатация;
- Инженерное обеспечение хранения и переработки продукции;
- Гидромелиоративные и строительные системы;
- Робототехнические комплексы и БПЛА;
- Энергоэффективность и возобновляемая энергетика [9].

Научные исследования с привлечением студентов, с защитой ими научных диссертаций, с внедрением разработок в реальный сектор АПК республики на инженерном факультете (ИФ) АГАТУ идут по следующим трём направлениям:

1. «Инженерное обеспечение хранения и переработки продукции». На кафедре «Технические системы в АПК» под руководством д.т.н., профессора Дринча В.М., к.т.н., доцента Дондокова Ю.Ж. работа идёт по следующим направлениям научных исследований:

• «Разработка технологии очистки и сортировки семян зерновых культур для условий РС (Я)» [13];

• «Разработка аэрационной установки для улучшения условий хранения зерна в условиях РС (Я)» [14];

• «Разработка мобильной установки для предпосевной обработки семян зерновых культур» [11];

• «Разработка и внедрение системы создания микроклимата в животноводческих комплексах» [12].

Проектно-конструкторские разработки кафедры:

1. «Мобильные убойные площадки для КРС по заявке сельхозпредприятий РС(Я)» [10];



Рисунок 1 – **Мобильная убойная площадка**

2. «Транспортёр для удаления древесных опилок по заявке ООО «Алмас»;

3. «Листогиб для сгибания 4 мм»;
4. «Станок для фикцации КРС по заказу факультета ветеринарной медицины»;
5. «Гравитационный сепаратор зерна»;
6. «Пневмоклассификатор зёрн»;
7. «Решётный сепаратор для очистки семян»;
8. «Шасталка-терка семян»;
9. «Линия высева семян сосны, для лесопитомника АГАТУ».



Рисунок 2 – **Пневмоклассификатор зёрн**



Рисунок 3 – **Линия высева семян сосны, для лесопитомника АГАТУ**

Эта техника востребована в семеноводческих хозяйствах республики для работы с зерновыми, бобовыми и многолетними травами. В работе данной лаборатории задействованы магистранты и бакалавры направления «Агроинженерия».

2. «Цифровые технические системы и искусственный интеллект». Это направление начинает развиваться под руководством к.т.н., доцента Дондокова Ю.Ж.

Создана лаборатория «Гидропонный тепличный комплекс замкнутого цикла», адаптированный для круглогодичного выращивания овощей в условиях резко континентального климата (рисунок 4).

Система обеспечивает полный контроль микроклимата, автоматизированный полив и освещение, что позволяет снизить ресурсопотребление и гарантировать стабильный урожай вне зависимости от сезона.

Начата работа с агрошколами по установке умных теплиц по выращиванию овощных культур. В 2025 г сооружена и функционирует школьная агротехнологическая лаборатория «Умный огород» в Маттинской СОШ им. Е.Д. Кычкина Мегин-Кангаласского улуса.



Рисунок 4 – **Гидропонный тепличный комплекс замкнутого цикла**

Результатом интенсивной работы в рамках акселерационной программы «ТехноИмпульс Якутия» магистрант 2 курса Тимофеев Дьулустан выиграл Грант, став победителем седьмой очереди конкурса «Студенческий стартап», проводимого Фондом содействия инновациям с проектом системы дистанционного мониторинга и диспетчеризации малых гидропонных теплиц [15]. Данный проект направлен на внедрение технологий по обеспечению жителей отдалённых районов Якутии свежими овощами, система позволяет автоматизировать управление теплицами, что критически важно для условий Крайнего Севера.

1. «Энергоэффективность и возобновляемая энергетика в агроинженерии». Профессор кафедры «Энергообеспечение в АПК», д.т.н. Друзьянова В.П. курирует данное направление. По данному блоку ведётся работа по следующим направлениям научных исследований:

• «Обеспечение работоспособности бензиновых двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники при переводе на биогаз корректированием регулировочных параметров двигателя»;

• «Повышение экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве путём применения фильтра очистки биогаза с природным цеолитом»;

• «Разработка пиролизной технологии утилизации твёрдых отходов животноводства»;

• «Разработка технологии и средств механизации для когенерации биогаза в условиях республики Саха (Якутия)»;

• «Повышение эффективности использования энергетических средств в условиях низких температур республики Саха (Якутия) путём применения автономного модуля для межсменной стоянки».

По данным направлениям защищено 6 кандидатских диссертаций и 1 докторская диссертация [16-22]. В настоящее время Варвара Петровна руководит аспирантами очного обучения Захаровой А.А. и Нератовым А.О.

Научно-исследовательская деятельность инженерного факультета в области агроинженерии демонстрирует устойчивую динамику, сочетая академические традиции с внедрением современных цифровых и импортозамещающих технологий. Для дальнейшего повышения эффективности инноваций необходимо модернизировать материально-техническую базу и расширять междисциплинарное взаимодействие.

На основе проведённого ретроспективного и структурно-функционального анализа научно-исследовательской деятельности инженерного факультета ФГБОУ ВО «Арктический государственный аграрный университет» можно сделать следующие выводы:

Из восьми основных направлений агроинженерной науки на сегодня в стенах ИФ АГАТУ получили развитие только три блока – инженерное обеспечение хранения и переработки продукции; цифровые технические системы и искусственный интеллект; энергоэффективность и возобновляемая энергетика в агроинженерии.

Необходимо начать и усилить работу по следующим основным блокам: машины и оборудование в АПК (механизация); электрификация и автоматизация технологических процессов; технический сервис и эксплуатация; гидромелиоративные и строительные системы; робототехнические комплексы и БПЛА.

Следует отметить, что научно-исследовательская деятельность инженерного факультета ФГБОУ ВО АГАТУ демонстрирует высокую практическую значимость и импортозамещающий потенциал. Реализация предложенных рекомендаций позволит существенно повысить эффективность трансфера технологий в реальный аграрный сектор экономики республики Саха (Якутия) и укрепить позиции университета как ключевого драйвера устойчивого развития арктических и субарктических аграрных территорий.

Список литературы

1. Высшее аграрное образование республики Саха (Якутия) / Якут. республик. обществ. организация «Ассоциация выпускников ЯГСХА»; [авт. кол.: А.В. Чугунов, д-р с.-х.наук, проф. и др.; редкол.: Л.Н. Владимиров, д-р биол.наук, проф. и др.; сост.: П.П.Брызгалов и др. – Якутск : 2014 . – Т. 3 : Якутская государственная сельскохозяйственная академия, (1996-2015 гг.) / [авт. кол. : А.В. Чугунов, д.с.-х.н., проф. и др.; редкол. : А.В. Чугунов, И.И. Слепцов]. – 2016 с. – 496 с.

2. Лицензия на право ведения образовательной деятельности № 16. Г-532 от 03.04.1994 г.

3. Лицензия на право ведения образовательной деятельности № 24 Г-0993 от 08.06.2000 г.

4. Приказ о переоформлении лицензии от 27.02.2018 № 254;

5. Приказ о переоформлении лицензии от 22.05.2019 № 700;

6. Приказ о переоформлении лицензии от 02.07.2019 № 927;

7. Приказ о переоформлении лицензии от 02.06.2020 № 629;

8. Распоряжение о переоформлении лицензии от 07.03.2017 № 511-06;

9. *Лачуга, Ю.Ф.* Основные задачи агроинженерной науки по устранению импортозависимости для дальнейшего развития сельскохозяйственного производства / *Ю.Ф. Лачуга* // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. - № 2 (46) – С. 6-7.

10. Патент № 2734619 Российская Федерация, МПК A22B 3/00 (2006.01), A22B 7/00 (2006.01). Мобильная убойная площадка : № 2020101150 : заявл. 14.01.2020 : опубл. 21.10.2020 / *Слепцов И.И., Аммосов И.Н., Иванов М.С., Ноев Д.М., Кокиева Г.Е.* ; заявитель ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия». – 11 с.

11. Патент № 2745140 Российская Федерация, МПК A01C 1/00. Устройство для предпосевной обработки семян (инокулятор) : № 2020123456 : заявл. 15.06.2020 : опубл. 23.03.2021 / заявитель и патентообладатель ООО МИП «Сэргэ», ФГБОУ ВО Арктический ГАУ. – 12 с.

12. Патент № 2754321 Рос. Федерация. Способ комплексной переработки сельскохозяйственной продукции в условиях низких температур : № 2021115432: заявл. 12.02.2021 ; опубл. 14.11.2021 / *Дринча В.М., Аммосов И.Н.*; заявители ООО МИП «Сэргэ», ФГБОУ ВО Арктический ГАУ. –электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности// ФИПС : [сайт]. – URL: https://fips.ru (дата обращения: 10.09.2026).

13. Патент № 2819240 Российская Федерация, МПК A01C 1/06. Устройство для предпосевной обработки семян : № 2023118616 : заявл. 13.07.2023 : опубл. 15.05.2024 / *Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Александров Н.П.* [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет». – 11 с.

14. Патент на аэротару / аэратор зерна (2020–2022 гг.) Аэротара зерна колонкового типа : пат. 2730125 (ориент.) Рос. Федерация, МПК A01F 25/08 / *Кокиева Г.Е., Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н., Юсупов Ш.Т.* ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Арктический ГАУ. – Заявл. 18.03.2020 ; Опубл. 24.08.2020 // Федеральный институт промышленной собственности : [сайт]. – URL: https://fips.ru (дата обращения: 18.09.2026).

15. 20.35 Университет: сайт. – Москва, 2018 - . – URL: https://pt.2035.university/accelerator/984?ysclid=mu6xhl9ybu20495581 (дата обращения: 09.09.2026).

16. *Петров, Н.В.* Разработка номограммы корректированием регулировочных параметров двигателя : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / *Петров Николай Вадимович*. – Улан-Удэ, 2013. – 24 с. – Текст : непосредственный.

17. *Егорова, Е.Н.* Обоснование параметров метантенка малого объема с перемешивающим устройством для условий Республики Саха (Якутия) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / *Е.Н. Егорова*. – Благовещенск, 2017. – 20 с. – Текст : непосредственный.

18. *Семенова, О.П.* Повышение экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве путем применения фильтра очистки биогаза с природным цеолитом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / *О.П. Семенова*. – Якутск, 2018. – 24 с. – Текст: непосредственный.

19. *Спиридонова, А.В.* Разработка пиролизной технологии утилизации твердых отходов животноводства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / *А.В. Спиридонова*. – Якутск, 2021. – 18 с. – Текст : непосредственный.

20. Савватеева, И. А. Разработка технологии и средств механизации для когенерации биогаза в условиях Республики Саха (Якутия) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / И.А. Савватеева. – Якутск, 2021. – 24 с. : ил. – Текст : непосредственный.

21. *Анисимов, Е.Е.* Повышение эффективности использования энергетических средств в условиях низких температур Республики Саха (Якутия) путем применения автономного модуля для межсменной стоянки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 4.3.1 / *Е.Е. Анисимов*. – Якутск, 2023. – 20 с. – Текст : непосредственный.

22. *Петров, Н.В*. Повышение эффективности эксплуатации тракторных дизелей на биогазовом топливе в условиях низких температур окружающей среды : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 4.3.1 / *Н.В. Петров*. – Барнаул, 2024. – 40 с. – Текст : непосредственный.

23. Пути становления агроинженерного образования в Якутии / *Друзьянова В.П., Афанасьева Т.И.* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: материалы XI Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Иркутск, 03-04 октября 2024 г.). Иркутск : Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2024. С. 384-391.

Сведения об авторах

Афанасьева Татьяна Ивановна – старший преподаватель кафедры «Энергообеспечение в АПК». Арктический государственный агротехнологический университет. (677013, Россия, республика Саха (Якутия), г. Якутск, тел.: 89241764164, e-mail: tanafan42@gmail.com).

Друзьянова Варвара Петровна – доктор технических наук, профессор кафедры «Энергообеспечение в АПК». Арктический государственный агротехнологический университет. (677013, Россия, республика Саха (Якутия), г. Якутск, тел.: 89841138724, e-mail: druzvar@mail.ru).

Information about the authors

Afanasyeva Tatyana I. – senior lecturer of the department of power supply in the agro-industrial complex, Arctic state agrotechnological university (677013, 3 Sergelyakhskoe shosse, Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), Russia, tel.: 89241764164 e-mail: tanafan42@gmail.com).

Druzyanova Varvara P. – doctor of technical sciences, professor of the department of power supply in the agro-industrial complex, Arctic state agrotechnological university (677013, 3 Sergelyakhskoe shosse, Yakutsk, republic of Sakha (Yakutia), Russia, tel.: 89841138724, e-mail: druzvar@mail.ru).

УДК 378.046.4

МОДЕЛЬ КАДРОВОГО СУВЕРЕНИТЕТА АПК

Т.В. Бодякина, Е.В. Елтошкина

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматривается новая модель подготовки инженеров для АПК. Представлены пути решения преобразования процесса обучения, выявлены точки соприкосновения работодателей и учебных заведений, пересмотрены методики и методы преподавания в связи с вновь возникающими потребностями государства. При анализе возникающих потребностей авторами предлагается создать единую инженерную систему, которая будет интегрирована с производством и образованием. В этой единой системе предложены три типа интеграций учебного процесса и производства. Совместное использование всех ресурсов через рассматриваемую модель подготовки кадров превратит АПК из потребителя технологий в их основной элемент экспорта.

Ключевые слова: инженер, сельское хозяйство, эффективность, конкурс, модель, образование.

A MODEL OF WORKFORCE SOVEREIGNTY IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

T.V. Bodyakina, E.V. Eltoshkina

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Yezhevsky,
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines a new model for training engineers for the agro-industrial complex. It outlines approaches to transforming the training process, identifies areas of alignment between employers and educational institutions, and revises teaching methodologies in response to emerging state needs. Based on an analysis of these needs, the authors propose creating a unified engineering system that integrates production and education. Within this system, three types of integration between the educational process and production are proposed. Leveraging all resources through this training model will transform the agro-industrial complex from a consumer of technologies into a key exporter of them.

Key words: engineer, agriculture, efficiency, competition, model, education.

В России сельское хозяйство на протяжении нескольких десятилетий развивалось экстенсивно, опираясь на земельные ресурсы. Однако технологическая отрасль – комбайны, тракторы, системы орошения, программное обеспечение для управления, компоненты для переработки сельхозпродукции и т.д. во многом зависела от зарубежных компаний. В связи с введёнными санкциями для России со стороны зарубежных стран прекратился доступ к технологиям и запасным частям для техники [1].

В настоящее время продовольственная безопасность измеряется не только литрами молока и собранными тоннами зерна. Она определяется способностью государства самостоятельно без привлечения импорта проектировать, производить, обслуживать, модернизировать сельскохозяйственную технику и цифровую систему. Главным и связующим звеном в этой цепочке является инженер аграрного сектора. В советское время высшая школа выпускала механиков сельского хозяйства, а современная реальность агроинженеров, которые обладают принципиально разными компетенциями. В связи с этим возникает необходимость трансформации системы образования для подготовки специалистов агропромышленного комплекс, которые в свою очередь должны соответствовать повышенным требованиям при работе с агротехникой [2, 5].

Классический инженер-механик, способный в полевых условиях перебрать двигатель с помощью имеющихся ключей и молотка больше не отвечает вызовам времени. Современная сельскохозяйственная техника оснащена навигационными системами, системами автоматического управления, а не просто машина стоимостью десятки миллионов рублей.

Новая модель специалиста аграрного сектора базируется на знаниях в механотронике, робототехнике, кинематике, компьютерном зрении, программировании, точном земледелии, беспилотных системах, в работе ультразвуковых датчиков, области нейросетей. При этом инженер должен уметь калибровать нейросети также умело, как и производить настройку плуга. А также владеть навыками работы с геоинформационными системами, по обработке данных с дронов и спутников о влажности, составе почв, о нехватке или переизбытке удобрений. Это необходимо для автоматической подачи сигналов сеялки и опрыскивателю о необходимости запуска или завершения работы. Наряду с этим инженер должен знать и уметь экономику для оценки эффективности принятых решений и извлечения прибыли, и необходимости модернизации доступного машинотракторного парка, путём обновления или модификации [3, 7].

Для улучшения качества подготовки специалистов профессорско-преподавательскому составу необходимо ежегодно пересматривать новые технологии, новые методы, практико-ориентированные задания и включать их в учебный процесс.

Во многих вузах наблюдается устаревшая материально-техническая база и многие лаборатории оснащены старой техникой. Студент может при изучении топливной аппаратуры дизеля на плакате никогда не увидеть и не понять принцип работы интерфейса телематической платформы «Ростсельмаш» или других, которая передаёт данные в облако.

Также необходима академическая инерция, то есть обновление образовательных стандартов ФГОС, которое занимает несколько лет. За это время производители успевают внедрить новые трансмиссии, системы автопилотирования, а преподаватели не имеют опыта в сфере производства на данный момент и дают устаревшие и не обновленные теоретические знания [4, 6, 8].

Аграрные вузы должны постоянно сотрудничать с техническими вузами страны и *IT*-вузами для обмена опытом и освоения новых технологий. Отсутствие междисциплинарного сотрудничества негативно влияет на взаимодействие механика и программиста, биолога и инженера.

Для преодоления кадрового голода недостаточно только сил вузов нужно создать единую инженерную систему, которая будет интегрирована с производством и образованием [9, 10]. В которой предлагается создавать:

1) Инжиниринговые центры и применять дуальное образование, при котором студенты старших курсов должны проводить столько же времени на предприятии, сколько в аудитории (рисунок 1). Производственные практики позволят получить опыт в разработке курсовых проектов, связанных с отечественным беспилотным модулем. А также необходимо создавать на базе заводов и агрохолдингов кафедры полного цикла. Для профессорско-

преподавательского состава необходимо составить библиотечный фонд о работе производства и новых технологий;

2) Цифровые полигоны и тренажеры для обучения, так как обучение ремонту методом проб и ошибок современной электроники обойдётся очень дорого (рисунок 2). Поэтому необходимо внедрять в учебные лаборатории цифровые двойники техники и стенды. Например, очки виртуальной реальности для обозрения схем потоков гидравлики и ошибок электронного блока управления без разбора автомобиля или трактора; симуляторы кабин комбайнов с подвижными платформами для отработки навыков вождения и настройки жатки для автоматизма;



Рисунок 1 – **Инжиниринговый центр цифровых технологий машиностроения**



Рисунок 2 – **Комплект учебно-лабораторного оборудования**

3) Проектное финансирование образования государством. Государство должно выступать не только заказчиком, но и гарантом технологического

спроса, путём выделения грантов. Например, в рамках гранта федеральной программы «Приоритет-2030» необходимо финансирование закупки оборудования, стендов и программного обеспечения, используемого в развитых российских предприятиях и производителях в сфере машиностроения. Это способствует развитию тесных связей между выпускником и работодателем. А также, например, всероссийский конкурс «АгроНТРИ» для учеников с 5 по 11 классы представляет собой полноценное развитие при сотрудничестве школ и агровузов при подготовке к выполнению заданий конкурса по номинациям: «АгроКосмос», «АгроМетео», «АгроВет», «АгроСмарт» и т.д (рисунок 3).

В любом государстве невозможен суверенитет без развития собственных конструкторских решений. Долгое время инженеры страны успешно адаптировали зарубежную технику под суровые климатические условия Сибири и Дальнего Востока. Поэтому необходимо изменить подход к обучению и предоставить условия для создания новых конструкторских решений, начиная с участия в различных конкурсах научных разработок, в которых студент может применить опыт участия в «АгроНТРИ».



Рисунок 3 – **Всероссийский конкурс «АгроНТРИ»**

Новая модель подготовки специалистов агропромышленного комплекса должна стимулировать студентов к созданию собственных технических решений. Идеальный вариант защиты выпускных квалификационных работ выглядит на сегодня так, что группа студентов получает задание, в котором необходимо провести сравнительный анализ типичных поломок известных иностранных и российских опрыскивателей из-за использования неподходящих удобрений, а затем на основе анализа спроектировать узел из сплавов отечественного производства, распечатать его на 3*D* принтере для стендовых испытаний.

Специалисты, подготовленные по новой модели, способны создать конкурентноспособную на мировом уровне технику. Поэтому мы должны готовить будущих изобретателей для промышленности.

В настоящее время в рамках государственной программы развития молодёжи проводятся комплекс конкурсов и стартапов при обучении в вузе, где предоставляется возможность создавать, испытывать и продвигать свои разработки и технические решения на рынок сбыта для малых и крупных предприятий. Профессорско-преподавательский состав должен помогать студентам в оформлении заявок, документов, отчётов и технических решений для участия в конкурсах.

Главной проблемой миграции талантливых сельских жителей в город заключается в нехватке инфраструктуры для развития себя и детей, тяжёлых условиях труда, жизни, недостаточным уровнем заработной платы, отдалённости складов, гаражей и мастерских от обрабатываемых полей.

Современные агроинженеры с помощью современных средств управления могут управлять, анализировать и контролировать сельхозтехнику из офиса в областном или районном центре удаленно.

Одним из ключевых аспектов обучения является договор о целевом обучении, который является гарантом будущего рабочего места, карьерного роста, тесной взаимосвязи с предприятием, определение траектории обучения для комфортного включения в рабочий процесс, предоставление единовременной выплаты выпускникам и оплату релокации для молодых семей. В данном случае работодатель выступает в качестве партнера, инвестирующего в комфорт и развитие своего будущего ключевого сотрудника. Благодаря этому искореняется проблема трудоустройства выпускников сельскохозяйственных вузов.

Осуществление перехода к модели кадрового суверенитета очень болезненный, но необходимый процесс отказа от иллюзий к конкретным действиям. Он требует больших вложений со стороны государства в обновление лабораторий, переподготовке профессорско-преподавательского состава и глобального изменения взаимодействия действующего бизнеса и образовательных учреждений. Таким образом, выпускник обязан понимать цели, способы достижения цели, будущие условия труда для планирования дальнейшей взрослой после вузовской трудовой деятельности, от которой зависит его успех, удовлетворенность и взаимодействие в коллективе. Такой специалист сельского хозяйства является гарантией продовольственной безопасности страны и бесперебойности развития страны. Россия имеет всё необходимое для этого, т.е. земельные ресурсы, трудовые, научные ресурсы, продовольственные ресурсы, полезные ископаемые, водные ресурсы и достойную школу в области машиностроения. Совместное использование всех ресурсов через рассматриваемую модель подготовки кадров превратит агропромышленный комплекс из потребителя технологий в их основной элемент экспорта.

Список литературы

1. *Антонов, А.А.* Операционная модель процесса обучения / *А.А. Антонов* // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2025. – № 4. – С. 14-22. – DOI 10.26297/2312-9409.2025.4.2. – EDN SJDGSM.

2. *Бендик, Н.В.* Модель становления профессионально важных качеств студентов в воспитательной системе аграрного вуза / *Н.В. Бендик, Н.И. Федурина* // Потенциал

образования для самореализации и развития талантов у молодежи: Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной Году педагога и наставника, Иркутск, 20 января 2023 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 23-30. – EDN YMXXPG.

3. *Елтошкина, Е.В.* Проблемы и перспективы развития профессионального аграрного образования / *Е.В. Елтошкина, Т.В. Бодякина, Р.И. Шавилиев* // Научно-технические приоритеты развития АПК России: материалы 76-й международной научно-практической конференции, Рязань, 24 апреля 2025 года. – Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2025. – С. 284-289. – EDN YQQRIA.

4. *Еремина, И.И.* Цифровая оценка качества обучения: математическая модель квалиметрии в условиях цифровой университетской среды / *И.И. Еремина, Д.М. Лысанов* // Проблемы современного педагогического образования. – 2026. – № 90-4. – С. 59-62. – EDN NKEKNO.

5. *Касторская, Л.В.* От знаний к качеству: модель компетенций для эффективного обучения / *Л.В. Касторская, С.С. Котов, Е.В. Чуклина* // Методы менеджмента качества. – 2025. – № 1. – С. 46-47. – EDN ARVWFZ.

6. *Лончаков, И.А.* Цифровые и информационные технологии в образовании / *И.А. Лончаков, М.В. Чубарева* // Прикладные вопросы математики в экономике, технике и сельском хозяйстве : Материалы студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию Иркутского ГАУ, Иркутск, 22 мая 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 60-62. – EDN LHSCMD.

7. *Медянкина, Е.Л.* Модель адаптивного интеллектуального обучения бакалавров технического профиля / *Е.Л. Медянкина, Н.Д. Куркурин* // Системная инженерия и инфокоммуникации. – 2025. – № 4(4). – С. 48-52. – EDN UKAACO.

8. *Сольская, И.Ю.* Модель формирования программ профессиональной подготовки, обеспечивающих результативность обучения / *И.Ю. Сольская* // Современные проблемы науки и образования. – 2025. – № 6. – С. 70. – DOI 10.17513/spno.34398. – EDN GCMXNM.

9. *Синица, С.А.* Комплексная модель обеспечения качества данных для обучения нейросетей в условиях нестабильных источников / *С.А. Синица* // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2025. – № 7-2(106). – С. 262-266. – DOI 10.24412/2500-1000-2025-7-2-262-266. – EDN YSHDUH.

10. *Меньших, В.В.* Модель оценки длительности группового обучения с учётом ресурсных ограничений организации / *В.В. Меньших, А.В. Подольских* // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2025. – № 1(27). – С. 44-51. – DOI 10.30987/2658-6436-2025-1-44-51. – EDN RDLWHW.

Сведения об авторах

Бодякина Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования ИЭУИПИ Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского (664038, Иркутская обл., Иркутский р - н, п. Молодежный, тел.: 89148781789, e-mail: bodt1981@yandex.ru).

Елтошкина Евгения Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математики инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Иркутская обл., Иркутский р - н, п. Молодежный, тел.: 89041292430, e-mail: EEV_Baikal2005@mail.ru).

Information about the author

Bodyakina Tatyana V. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of informatics and mathematical modeling, institute of economics, management, and applied informatics, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (664038, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village, tel.: 89148781789, e-mail: bodt1981@yandex.ru).

Eltoshkina Evgenia V. – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor at the department of mathematics, faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, tel.: 89041292430, e-mail: EEV_Baikal2005@mail.ru).

УДК 378.14:37.062

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК АКТИВАТОР КАЧЕСТВА ПРЕПОДАВАНИЯ, ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ, ДИСЦИПЛИН

М.Ю. Бузунова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Актуальная задача повышения качества многоуровневой подготовки выпускником Вуза в рамках непрерывного образования бакалавриат-магистратура-аспирантура требует совершенствования образовательной деятельности, с учётом современных научных достижений при изучении конкретных дисциплин учебного плана. В работе представлены результаты исследования эффективности внедрения в учебный процесс элементов научных исследований при проведении аудиторной и самостоятельной работы на основании целенаправленного опроса студенческой аудитории. Результаты социологического опроса подтверждают эффективность предлагаемой методики и представлены в виде соответствующих таблиц и диаграмм.

Ключевые слова: научные исследования, социологический опрос, студент, качество, физика, преподавание, образование.

SCIENTIFIC RESEARCH AS A DRIVER OF TEACHING QUALITY IN NATURAL SCIENCE DISCIPLINES

M.Yu. Buzunova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The pressing task of enhancing the quality of multi-level university training-within the framework of continuous education spanning the bachelor's, master's, and postgraduate stages – requires the improvement of educational activities, by incorporating modern scientific advancements into the study of specific curriculum disciplines. This paper presents the results of a study evaluating the effectiveness of integrating research elements into classroom instruction and independent study, based on a targeted survey of students. The survey findings confirm the effectiveness of the proposed methodology and are presented in the form of relevant tables and charts.

Key words: scientific research, sociological survey, student, quality, physics, teaching, education.

Актуальные требования непрерывного совершенствования качества образовательной деятельности в процессе подготовки выпускника высшей школы требуют своевременного внедрения прогрессивных инноваций при

реализации ФГОС последнего поколения [1, 9]. Поэтапное внедрение элементов искусственного интеллекта и современных информационных технологий в учебный процесс несомненно играют значимую роль при освоении будущими выпускниками необходимых компетенций. Однако в рамках постоянного совершенствования методики преподавания необходимо учитывать значимость введения в учебный процесс результатов актуальных научных исследований по изучаемой теме [7, 10]. Основные направления применения современных информационных технологий в учебном процессе и научных исследованиях, а также при повышении квалификации специалистов – энергетиков, рассмотрены в работе [10, 12]. Вопросы рационального использования нетрадиционных форм обучения, с учётом эффективных форм организации самостоятельной внеучебной работы студента отражены в работах [4, 11].

В настоящей статье представлены результаты исследования по вопросу эффективности внедрения в учебный процесс элементов научных исследований в процессе реализации аудиторной и самостоятельной работы на основании целенаправленного опроса студенческой аудитории. Социологический опрос проводился среди студентов 2-3 курса инженерных направлений подготовки, в качестве реперной точки выбрана естественно-научная дисциплина «Физика», играющая значимую роль при изучении дисциплин естественно-научного профиля, методика преподавания которой представлена в работах [3, 4]. При этом следует отметить, что компетентность выпускника высшей школы напрямую взаимосвязана с качеством освоения дисциплин естественно-научного блока. В опросе в виде анкетирования приняли участие 233 человека по направлениям подготовки «Агроинженерия», «Профессиональное обучение» и «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Обеспечить формирование грамотной социально адаптированной полноценной личности с высоким уровнем профессионализма возможно только с учётом возможности развития творческого мышления обучающегося, позволяющего непосредственно применять полученные знания и навыки в будущей профессиональной деятельности. Важная роль при этом принадлежит вопросам внедрения в учебный процесс современных актуальных сведений на основе передовых разработок, полученных в результате научных исследований.

Таблица 1 – **Результаты опроса студенческой аудитории**

Вопрос	**Да**	**Скорее да, чем нет**	**Нет**
1	**2**	**3**	**4**
1. Целесообразно ли внедрение в учебный процесс элементов научных исследований	73,0 %	24,6 %	2,4 %
2. Помогают ли научные разработки более полноценному усвоению изучаемого раздела	59,7 %	37,0 %	3,3 %
3. Имеет ли смысл представлять материалы научных разработок строго по разделу изучаемой дисциплины	61,0 %	18,5 %	16,5 %

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
4. Целесообразно ли рассматривать материалы научных исследований по теме в рамках самостоятельной работы	65,6 %	27,0 %	7,4 %
5. Оцените необходимость формирования портфолио с основными результатами НИР	34,5 %	24,6 %	20,9 %
6. Важно ли использование видеоматериалов и презентаций при демонстрации материала	71,0 %	19,2 %	9,8 %
7. Будет ли полезным применение полученных знаний в будущей профессиональной деятельности	55,6 %	41,0 %	3,4 %

Так в качестве примера при рассмотрении разделов по электричеству студентам можно представить информацию о переносе электретных зарядов в неравновесной мелкодисперсной среде под действием внутреннего поля [2]. С диэлектрическими свойствами вещества на примере зерновых культур [5, 6] можно предложить ознакомиться в рамках часов, отведённых на самостоятельную работу. Современные наноструктуры на примере живого организма позволяет рассмотреть работа [8].

Анализ материала научных исследований способствует повышению уровня восприятия и понятия механизма сложных физических систем и происходящих в исследуемых системах явлений и процессов.

Следует отметить, что развитие новых форм самостоятельной работы способствует активации познавательной деятельности студенческой аудитории, эффективному применению полученных знаний при участии в конкурсах, программах и грантах различного уровня («Стартап», «Умник», «Росмолодёжь», «Акселератор» и др.).

Тематика проведённого опроса связана с рассмотрением вопроса о целесообразности и эффективности внедрения в образовательную деятельность при изучении дисциплины «Физика» элементов научных исследований по соответствующим разделам изучаемого предмета.

В таблице 1 представлены результаты социологического опроса студентов очной формы обучения ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского» в форме анкетирования.

Опрос показал, что 73 % опрошенной аудитории считает целесообразным внедрение в учебный процесс элементов научных исследований, 59,7 % отмечают возможность к более эффективному усвоению изучаемого материала. При этом 61 % считает важным представлять элементы НИР на занятиях строго по изучаемой теме, а 65,6 % рассматривать их в рамках самостоятельной работы студента, формировать портфолио при этом считает нужным 34,5 %. Важность использования видеоматериалов и презентаций при демонстрации материала отмечает 71 % опрошенных, а эффективность применение полученных знаний в будущей профессиональной деятельности 55,6 %. Следует отметить, что лишь 2,4 % студенческой аудитории считают нецелесообразным внедрять элементы научно-исследовательской работы в учебный процесс.

Результаты анкетирования демонстрируют диаграммы (рисунок 1), представленные в виде процентов ответов на основные представленные вопросы.

Проведённые исследования подтверждают возможность активного развития и стимулирования познавательной деятельности, интеллектуальных способностей и аналитического мышления обучающихся при изучении материалов НИР.

Кроме того, предложенная методика введения элементов современных научных исследований в учебный процесс, как во время проведения аудиторных занятий, так и при организации самостоятельной работы студентов, является стимулирующим фактором к повышению мотивации студенческого коллектива к обучению. Апробация, проведенная на примере естественно-научной дисциплины «Физика», подтверждает эффективность предложенного способа для повышения качества образовательного процесса.

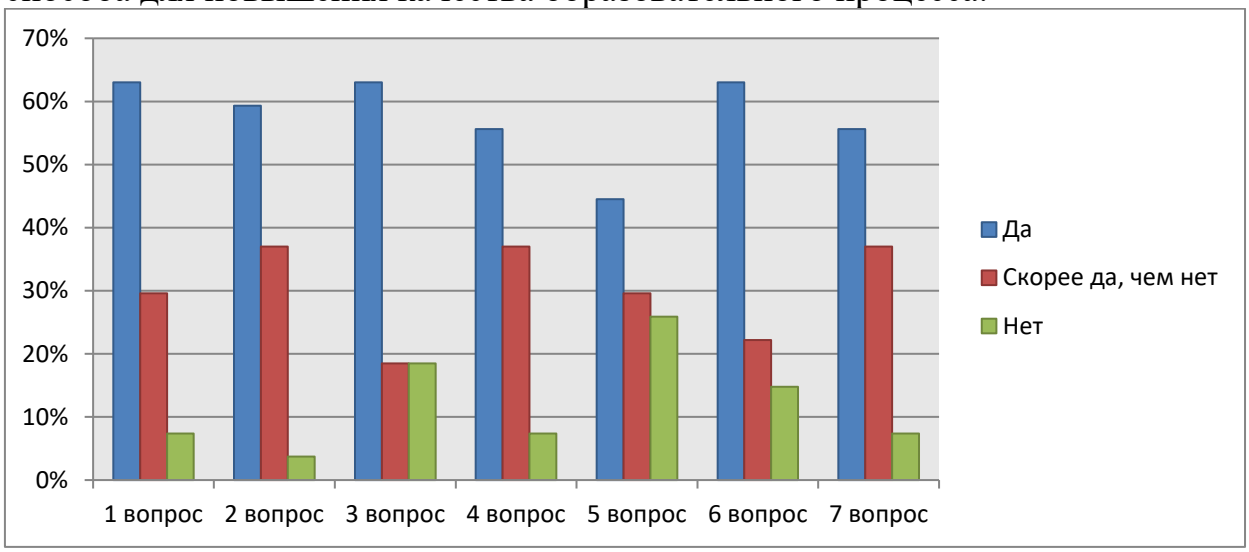


Рисунок 1 – **Данные социологического опроса обучающихся**

Включение современных инновационных методик в учебный процесс при создании творческой атмосферы на занятиях несомненно активизирует мыслительный процесс и способствует повышению уровня мотивации студенческой аудитории и качество подготовки будущего выпускников высшего учебного заведения.

Список литературы

1. *Бондаренко, О.В*. Проблема качества и конкурентоспособности российского высшего образования / *О.В. Бондаренко, Н.П. Иляшевич, А.И. Мартыненко* // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы VII международной научно-практической конференции, Иркутск, 24-26 мая 2018 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2018. – С. 264-269.

2. Перенос электретных зарядов в неравновесных мелкодисперсных системах под действием внутреннего поля / *М.Ю. Бузунова, Ш.Б. Цыдыпов, Л.А. Щербаченко* [и др.] // Вестник Бурятского государственного университета. – 2015. – № 3. – С. 75-80. – EDN TOKZQZ.

3. *Бузунова, М.Ю.* Особенности преподавания физики в аграрном вузе / *М.Ю. Бузунова* // Наука и образование: опыт, проблемы,перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 20-22 апреля 2021 года. Том

Часть I. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2021. – С. 20-22.

4. *Бузунова, М. Ю.* Особенности методики преподавания физики в вузе аграрного профиля / *М.Ю. Бузунова* // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Красноярск, 19-21 апреля 2022 года. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – С. 191-193.

5. *Бузунова, М.Ю*. Влияние термообработки на диэлектрические свойства зерновых культур / *М.Ю. Бузунова* // Вестник ИрГСХА. – 2020. – № 100. – С. 6-14. – DOI 10.51215/1999-3765-2020-100-6-14. – EDN JLAZJH.

6. *Бузунова, М.Ю*. Диэлектрическая дисперсия механоактивированных зерновых культур / *М.Ю. Бузунова* // Вестник ИрГСХА. – 2019. – № 92. – С. 25-32. – EDN ZTSGRV.

7. *Вышегородцева, И.С*. Применение элементов научного исследования в учебном процессе / *И.С. Вышегородцева* // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 18-20 апреля 2017 года / Красноярский государственный аграрный университет. Том Часть I. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2017. – С. 14-17. – EDN ORZILJ.

8. *Кутимская, М.А*. Коммуникации в макро-, микро- и наноструктурах живого организма / *М.А. Кутимская, М.Ю. Бузунова* // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-14-2008) : Материалы 14-я Международной научно-практической конференции, Омск, 06-08 октября 2008 года. – Омск : Межрегиональная общественная организация "Сибирская академия наук высшей школы" (Академия наук высшей школы регионов Сибири), 2008. – С. 251-257. – EDN UMWPGF.

9. *Khomich, N. V*. Social and informational approach in high education in the blended learning format / *N. V. Khomich, M. Y. Buzunova* // European proceedings of social and behavioural sciences EpSBS, Krasnoyarsk, 19-21 мая 2021 года. Vol. 116. – Krasnoyarsk, Russia : ISO LONDON LIMITED - European Publisher, 2021. – P. 1242-1247. – DOI 10.15405/epsbs.2021.09.02.138

10. Применение современных информационных технологий в учебном процессе и научных исследованиях / *Н.Д. Рогалев, А.А. Дудолин, А.В. Андрюшин* [и др.] // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2017. – № 6. – С. 9-19. – DOI 10.24160/1993-6982-2017-6-9-19. – EDN ZWYUMV.

11. *Сухаева, А.Р.* Рациональное использование нетрадиционных форм обучения в учебном процессе / *А.Р. Сухаева, Т.А. Алтухова* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06-08 октября 2022 года / Редколлегия : Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 367-372.

12. *Шутова, А.Г*. Применение компьютерного моделирования в учебном процессе и научных исследованиях при изучении дисциплины физика / *А.Г. Шутова, У.Ю. Титова* // Современная педагогика и научные исследования в образовательной организации высшего образования : Материалы Всероссийской научно-методической конференции, Кострома, 17 февраля 2024 года. – Кострома: Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко, 2024. – С. 312-317. – EDN PCRTCH.

Сведения об авторе

Бузунова Марина Юрьевна – кандидат физико-математических наук, доцент, декан энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет им. А.А.

Ежевского(664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный 1, тел.: 89500557333, e-mail: bmirk@mail.ru).

Information about the author

Buzunova Marina Yu. – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, dean of the faculty of energy. A.A. Yezhevsky Irkutsk state agrarian university (1 Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russia; tel.: 89500557333; e-mail: bmirk@mail.ru)

УДК 338.43

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ АПК

С.П. Голышева

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу состояния цифровой зрелости аграрной отрасли экономики страны. Определены цели и задачи стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года, поставленные Правительством РФ. Приведены целевые показатели цифровой зрелости АПК на 2026 г и в долгосрочной перспективе на 2030 г. Указаны сдерживающие факторы достижения цифровой зрелости в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: сельское хозяйство, агропромышленный комплекс, цифровая трансформация, цифровая зрелость, экономическое развитие.

ASSESSMENT OF THE STATE AND PROSPECTS OF DIGITAL MATURITY OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE ECONOMY

S.P. Golysheva

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article is devoted to an analysis of the state of digital maturity in the country's agricultural sector. The goals and objectives of the strategic direction in the field of digital transformation of the agro-industrial and fisheries sectors of the Russian Federation for the period up to 2030, set by the Government of the Russian Federation, are defined. Target indicators of the digital maturity of the agro-industrial complex for 2026 and in the long term for 2030 are presented. The сдерживающие factors hindering the achievement of digital maturity in agriculture are identified.

Key words: agriculture, agro-industrial complex, digital transformation, digital maturity, economic development.

Сельское хозяйство – основная движущая сила экономики страны, обеспечивающая продовольственную безопасность, социальную стабильность, а также содействующая в формировании здорового образа жизни и рационального питания населения страны, согласно концепции государственной политики.

Достижение «Цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики и социальной сферы, в том числе здравоохранения и образования определено Указом о национальных целях развития [9]. На сегодняшний день развитие агропромышленного комплекса (АПК) напрямую связано с теми вызовами и задачами, связанными с тенденцией развития современного мира по цифровому пути. Основная цель цифровой трансформации сельского хозяйства – глобальное внедрение компьютерных и цифровых продуктов, направленных на повышение качества управления, продуктивности и эффективности производственных процессов и принятие обоснованных решений. Использование таких инструментов, как искусственный интеллект ИИ, интернет вещей (*IoT*), *GPS* и датчики, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны, позволяют собирать, анализировать и использовать большие объёмы данных для оптимизации процесса производства, управления ресурсами, для снижения негативного воздействия отрасли на окружающую среду [7].

Обеспечение долгосрочного и перспективного развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов в области цифровой трансформации – цель стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. Цифровая трансформация сельского хозяйства – это, безусловно, сложный и многогранный процесс оцифровывания всех «Звеньев» одной цепи, начиная от производства и заканчивая реализацией товара. Основной принцип цифровизации сельского хозяйства заключен в возможности перехода на более качественный уровень экономического развития страны: обеспечение роста урожайности сельскохозяйственных культур и производительности труда, оптимизация затрат, увеличение производства высококачественной и уникальной продукции, формирование эффективных каналов её сбыта, повышение качества прогноза, планирования и контроля бизнес-процессов.

Цифровая трансформация сельского хозяйства – ведущий тренд мирового бизнеса, заключенный во внедрении современных цифровых технологий в управление, производство, логистику и маркетинг, направленных на совершенствование агропроизводства; улучшение качества продукции; рациональное использование ресурсов; достижение экологического баланса, продовольственной безопасности; роста производительности труда; оптимизации ресурсов; конкурентоспособности и повышение оперативности управления и эффективности производства, создавая условия технологического управления рисками и создания стратегий развития, способствующих устойчивому развитию аграрного сектора экономики [2, 3, 4, 5].

Уровень цифровой зрелости в сельском хозяйстве зависит от ряда факторов. Так, в [2] выделены такие факторы, как: *IT*-инфраструктура (наличие

быстрого Интернета, обеспечивающий доступ к видам связи, цифровым технологиям и электронной коммерции); доступ к цифровым ресурсам (датчики, дроны и т.д.); государственная поддержка (льготы, субсидии); образование и компетентность (обучение, подготовка / переподготовка персонала); цифровое сознание и культура (отказ от традиционного мышления и управления хозяйством, осознание важности внедрения компьютеризации и цифровизации производства как успешного шага цифровой зрелости в сельском хозяйстве).

В приведённой ниже таблице указан ряд сдерживающих факторов достижения цифровой зрелости АПК, основанные на российских, международных практиках, опытах и наблюдениях ученых, исследователей, аналитиков и специалистов в области агропроизводства.

Таблица 1 – **Сдерживающие факторы достижения цифровой зрелости АПК по [3, 5, 4, 7, 1, 6, 9, 10 и др.]**

Сдерживающие факторы	**Интерпретация**
1	**2**
1. Неготовность и отсутствие мотивации к цифровизации производства	Мотивация и осознание необходимости внедрения цифровых технологий – ключевой аспект, без которого невозможная цифровая трансформация АПК в целом
2. Отсутствие Интернета, средств связи	Любой цифровой бизнес-проект основан на ресурсах Интернета, средствах связи и программных обеспечениях. Слабое Интернет-соединение может привести к торможению, блокировке и даже застою всей агробизнес-системы
3. Неразвитость инфраструктуры, в том числе, в сельских поселениях	Неполный комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу функционирования отраслей производства, жизнеобеспечения населения либо вышедших из строя, либо находящихся в плохом состоянии, либо отсутствующих, влекут негативные последствия и лишают возможности работать тому или иному объекту в полном объёме. К примеру, плохое состояние дорожной инфраструктуры может повлечь выхода из строя дорогой современной техники, расходование временных ресурсов, морального и физического износа человеческого ресурса и, как следствие, дополнительные финансовые расходы на ремонт и замену оборудования, техники, нехватку кадров и т.д.
4. Низкий уровень цифровой инфраструктуры	Серверы, интернет-соединения, облачные хранилища и базы данных, на которых держатся сайты и приложения
5. Недостаточный уровень государственной поддержки, отсутствие субсидий и других льготных формирований	Переход на тотальную цифровизацию должен включать прямые госсубсидии фермерам на покупку цифровых решений, запуск профильных образовательных программ, а также совместное развитие платформ данных и аналитических сервисов
6. Низкий уровень материально-технического оснащения и фондоопеспеченности хозяйствующих субъектов	Цифровизация производства требует современных и мощных технологических устройств, оснащённых программным обеспечением и новейшими компьютерными разработками. Низкий уровень технической оснащённости труда на 1 работника и объём средств будут тормозить развитию хозяйства

Окончание таблицы 1

1	2
7. Нехватка квалифицированных специалистов в области внедрения и использования цифровых агротехнологий	Недостаток или отсутствие цифровых навыков и компетенций у специалистов и кадрового потенциала сельского хозяйства
8. Зависимость от импортных технологий	Высокая зависимость от импортных технологий (более 80 %) замедляет процесс цифровой трансформации сельскохозяйственного производства. Высокая стоимость импортных технологий. Отсутствие широкого спектра отечественных технологий и цифровых решений для разработки цифровых сервисов и платформ
9. Недоверие к роботам	Боязнь выхода из строя «Робота» и сбоя программного обеспечения роботизированной системы управления бизнесом
10. Низкая зрелость малых хозяйств	Незрелость малых хозяйств не даёт темпа росту экономики страны в целом из-за низкой товарности (например, ЛПХ, КФХ производят товар для себя); слабой интеграции; отсутствия капитала (нет лишних финансов на покупку дорогой техники, качественных семян, удобрений); невозможность автоматизации (нет смысла в обработке небольшого участка земли мощной современной техникой); низкий уровень адаптации малых хозяйств под конкретные задачи
11. Отсутствие единой цифровой платформы данных АПК	Единая цифровая платформа АПК, которая объединит федеральные государственные информационные системы и обеспечит бесшовное взаимодействие пользователей. Это позволит аграриям работать в едином цифровом контуре, в том числе получать меры государственной поддержки в упрощенном формате [6]
12. Проблемы с безопасностью и конфиденциальностью	Взлом ИТ-систем, кибератаки на роботизированные системы может привести к: а) утере и утечке данных; б) остановке производства; в) физическому ущербу оборудований, авариям и чрезвычайным ситуациям; г) угрозе безопасности жизни людей; д) потере и падежу скота из-за блокировки доступа к жизненно важным данным
13. Влияние агроклиматических рисков на урожайность	Аномальные погодные условия (засуха, ливни, заморозки и др. погодные явления) приводят к снижению и потере урожайности сельхозкультур и дестабилизации экономики
14. Нестабильная политическая и экономическая ситуация в стране	Нестабильная политическая и экономическая ситуация в стране негативно сказывается на развитие не только агропродовольственного сектора, но и всех отраслей экономики

Таким образом, можно заключить, что низкий уровень цифровой зрелости сельского хозяйства определяется наличием сдерживающих факторов цифровой трансформации. Однако, существует некоторые противоречивые убеждения, как например в роботизации и автоматизации. С одной стороны, дорожание рабочей силы может привести к глобальному внедрению сельскохозяйственных роботов, что повлечет за собой нарастание уровня безработицы. С другой стороны, есть факт недоверия к роботам, которые не так хорошо могут справляться с функциями, как человек. Как отмечает профессор

экономики сельского хозяйства и ресурсов в Калифорнийском университете Дэвид Зильберман: «Технически полная автоматизация возможна везде, но экономический смысл она имеет только в определённых ситуациях» [8]. Подтверждением тому является пример создания первого в мире сельскохозяйственного бизнес-проекта университета Харпера Адамса и компании *Precision Decisions* – британской фермы «*Hands Free Hectare*», в которой растениеводство полностью было роботизировано: от посева семян до сбора урожая. Управление машинами производилось из диспетчерской, дроны со встроенными мультиспектральными датчиками производили съёмку угодий, небольшие сельскохозяйственные машины берут образцы земли, оценивают её и подбирают необходимые минудобрения, камеры в режиме реального времени оповещают о вредителях или сорняках. В результате с территории в 2,5 га было собрано 4,5 т ячменя. Однако проект был заморожен из-за неразумного подхода в цифровизации, обременявшего его дополнительным функционалом и затратами.

Анализ состояния цифровой зрелости в 2025 г. показал низкий уровень цифровой зрелости, где было применено лишь 30 % цифровых решений в АПК [10]. Низкий уровень цифровой зрелости в сельском хозяйстве может быть обусловлен отсутствием правильной стратегии внедрения цифровых технологий.

«Львиная доля» цифровизации АПК России осуществляется крупными вертикально интегрированными агрохолдингами: «Русагро», «ЭкоНива», «Мираторг», «Черкизово», «Продимикс», «Доминат», «Агрокомплекс им. Н.И. Ткачева», «ПрогрессАгро» и т.д.), тогда как в средних и малых хозяйствах данный процесс происходит скачкообразно и характеризуется внедрением отдельных элементов [11]. В федеральных рейтингах цифровой трансформации АПК традиционно высокие баллы показывают Белгородская, Пензенская, Московская, Калужская области и Республика Татарстан. Сегодня Костромская, Калужская и Липецкая области центрального Федерального округа признаны лидерами в сфере цифровизации и автоматизации сельскохозяйственного производства. Более 25 % предприятий Центральной России используют глобальную спутниковую навигацию и системы параллельного и автоматического вождения сельхозтехники [6].

Уровень цифровой зрелости в сельском хозяйстве как в стране, так и мире, обусловлен стремлением преодолеть глобальные вызовы современности и необходимостью смягчения продовольственных рисков, с которыми устоявшиеся методы управленческой сферы аграрной отраслью иногда не справляются [7]. В глобальном масштабе цифровизация АПК может принести мировой экономике $ 2,69 трлн. до 2035 года. Согласно стратегии цифровой трансформации АПК страны, к 2030 году 100 % предприятий сектора должны перейти на отечественное программное обеспечение в ключевых процессах (таблица 2), что позволит достичь экономического эффекта до 1,5-2 трлн. руб. [10].

В таблице 2 приведены некоторые целевые показатели цифровой зрелости АПК на 2026 г. и в долгосрочной перспективе на 2030 г., определённые в 2023 г. Правительством РФ [9].

Таблица 2 – **Некоторые индикаторы цифровой трансформации агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на 2026, 2030 гг.**

№	Показатели	2026 г.	2030 г.
1	Доля отечественного ПО и компонентов, используемых в государственных информационных системах АПК РФ, %	100	100
2	Количество решений, основанных на технологиях ИИ, задействованных в государственном секторе АПК, шт.	5	9
3	Доля сельскохозтоваропроизводителей, зарегистрированных в единой цифровой платформе (без ЛПХ), %	30	100
4	Доля производителей пищевой и перерабатывающей промышленности, зарегистрированных в единой цифровой платформе, %	30	100
5	Количество отраслевых показателей, по которым собираются данные на единой цифровой платформе, тыс. шт.	50	100
6	Доля рынка семян с.-х. растений, по которой обеспечена прослеживаемость, %	50	100
7	Количество видов племенных животных, для которых обеспечена возможность регистрации в племенном реестре и предоставления по ним информации, шт.	13	13
8	Доля рынка зерна и продуктов его переработки, по которой обеспечена прослеживаемость, %	75	100
9	Наличие информации о структуре севооборота, осуществляющегося на земельных участках, количество и виды вносимых удобрений, включая азотные удобрения, %	60	100
10	Обеспечена возможность дистанционного определения состояния посевов и объемов, с.-х. культур на обрабатываемых землях, %	60	100
11	Обеспечено ежегодное повышение квалификации работников предприятий агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов по образовательным программам, включающим программы освоения цифровых компетенций, чел./год	1000	1000

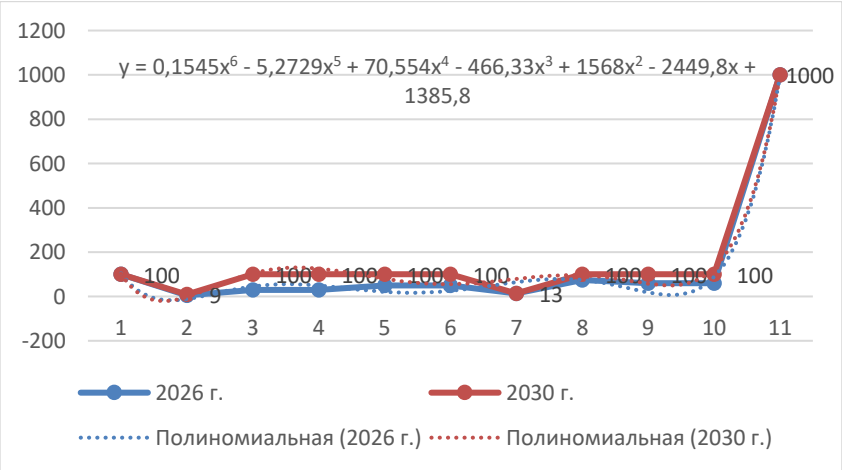


Рисунок 1 – **График зависимости некоторых целевых показателей цифровой трансформации АПК на 2026 г., 2030 г.**

Таким образом, внедрение цифровых технологий во все отрасли экономики РФ обозначило цифровизацию как одну из ключевых движущих сил улучшения качества жизни и условий ведения бизнеса. Глобальная цифровая трансформация заставляет отечественных сельхозтоваропроизводителей переходить на новый уровень существования и развития, от которого зависит не только эффективность владения бизнесом, но и будущее экономики страны и потому цифровую трансформацию сельского хозяйства одной из движущих сил развития экономики, направленной на внедрение, полное или частичное замещение и функционирование основных форм и видов деятельности цифровыми решениями, интеллектуализацию системы, ведущих к модернизации производства, повышающих уровень цифровой зрелости АПК [4].

Список литературы

1. *Александрова, Н.Р.* Цифровизация сельского хозяйства: тенденции и перспективы развития / *Н.Р. Александрова, А.К. Субаева, Ю.В. Чутчева* // Естественно-гуманитарные исследования. – № 2 (52). – С. 25-30.

2. *Банников, С. А.* Цифровая зрелость сельского хозяйства: результаты исследований и методика оценки / *С.А. Банников, Т.Г. Гарбузова, А.Н. Лосев* // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 10 (149). – С. 67-77.

3. *Винтер, Н. М.* Инновационные подходы к управлению в отраслях агропромышленного комплекса / Н.М. Винтер, А. Г. Воробьева, Т.Н. Родюкова // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 3 (154). – С. 66-75.

4. *Голышева, С.П.* Современные вызовы в управлении аграрным сектором экономики в условиях цифровой трансформации / *С.П. Голышева* // Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации : Матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. с межд. участием, посв. памяти Почетного работника ВПО РФ, д.-ра экон. н. Винокурова Г.М., Иркутск, 23 октября 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 75-79.

5. *Кирилов, М.Н.* Региональные проблемы цифрового развития сельского хозяйства / *М.Н. Кирилов, С.Г. Митин* // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 3 (154). – С. 98-106.

6. Минсельхоз подвел итоги рейтинга цифровой трансформации АПК в Центральной России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mcx.gov.ru/press-service/news/minselkhoz-podvel-itogi-reytinga-tsifrovoy-transformatsii-apk-v-tsentralnoy-rossii/. – 18.09.2026.

7. *Некрасов, К.В.* Цифровизация как фактор повышения конкурентоспособности предприятий аграрной сферы / *К.В. Некрасов, В.И. Набоков* // Уфимский гуманитарный научный форум. – 2024. – №1. – С. 171-182.

8. Первая в мире роботизированная ферма Hands Free Hectare вырастила урожай без участия людей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://incrussia.ru/news/pervaya-robotizirovannaya-ferma-hands-free-hectare/. – 18.09.2026.

9. Стратегическое направление в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года (приложение № 1 к распоряжению Правительства РФ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/57e/w9m5sri0g9282933sdnhvyuhv7k3lenn.pdf. – 19.2026.

10. Цифровизация российского АПК к 2030 году может принести 2 трлн руб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://oleoscope.com/news/uroven-cifrovizacii-rossijskogo-apk-30/. – 19.09.2026.

11. Цифровые технологии в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.secuteck.ru/articles/cifrovye-tekhnologii-v-selskom-hozyajstve-chast-1. – 17.09.2026.

Сведения об авторе

Голышева Светлана Павловна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Математика». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел.: +79247013521, e-mail: golyshevasp@yandex.ru).

Information about the author

Golysheva Svetlana P. – candidate of pedagogical sciences, associate proffessor of the department «Mathematics». Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: +79247013521, e-mail: golyshevasp@yandex.ru).

УДК 37.022; 378

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ОБУЧЕНИЕ: ИНТЕГРАЦИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ И ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ *ESP*, *CLIL* И *EMI*

Ю.Ю. Клибанова., А.В. Анненкова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Реализация междисциплинарного подхода в образовательном процессе технических специальностей требует создания комплекса целенаправленных педагогических условий, обеспечивающих эффективное взаимодействие содержания, методов и субъектов обучения. В контексте междисциплинарной интеграции данные условия должны обеспечивать не только формальное объединение дисциплин, но и их содержательное взаимодействие, направленное на формирование целостного профессионального знания. В данной работе рассматривается создание педагогических условий для синтеза физико-технических дисциплин и английского языка у студентов энергетических направлений Иркутского ГАУ с применением подходов *ESP*, *CLIL* и *EMI*.

Ключевые слова: интегрированное обучение, иностранный язык, физика, *ESP, CLIL, EMI*.

INTERDISCIPLINARY TEACHING: INTEGRATING PHYSICS AND TECHNICAL CONTENT WITH A FOREIGN LANGUAGE THROUGH ESP, CLIL, AND EMI

Yu.Yu. Klibanova, A.V. Annenkova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. Implementing an interdisciplinary approach in the education of students in technical fields requires establishing a set of targeted pedagogical conditions that ensure effective interaction among the curriculum content, teaching methods, and the participants in the learning process. In the context of interdisciplinary integration, these conditions must facilitate not merely a formal combination of disciplines but a substantive interaction aimed at fostering holistic professional knowledge. This paper examines the creation of pedagogical conditions for integrating physics and technical disciplines with the English language for students specializing in energy-related fields at Irkutsk State Agrarian University, utilizing ESP, CLIL, and EMI approaches.

Key words: integrated learning, foreign language, physics, ESP, CLIL, EMI.

Интеграция предметного и языкового обучения в современном образовательном пространстве рассматривается как ответ на потребность подготовки специалистов, способных функционировать в международной профессиональной среде [2, 3, 6]. Данный подход базируется на идее одновременного освоения содержания профильной дисциплины и средств его языкового выражения, что обеспечивает формирование профессионально ориентированной иноязычной компетенции. Междисциплинарный подход невозможен без системной координации учебных программ, тематических планов и образовательных результатов [6]. Ключевым условием является согласованность действий преподавателей различных дисциплин. Методологически интеграция опирается на когнитивно-деятельностный, компетентностный и контекстный подходы. Язык в данной парадигме выступает не объектом изучения, а инструментом познания и профессиональной коммуникации.

Модель *ESP* предполагает обучение иностранному языку с учётом профессиональной специфики обучающихся. Основной акцент делается на формирование специализированной лексики, навыков чтения и понимания профессиональных текстов, а также на развитие письменной и устной коммуникации в профессиональной сфере. Характерными особенностями данной модели являются ориентация на профессиональные потребности; использование аутентичных материалов; доминирование языковой составляющей при опоре на предметный контекст. *ESP* является начальным этапом интеграции и широко используется в технических вузах как базовая модель [12, 13].

CLIL представляет собой более глубокую форму интеграции, при которой предметное содержание и иностранный язык осваиваются одновременно. Обучение строится вокруг принципа «Двойной фокусировки»: внимание уделяется как содержанию дисциплины, так и языковым средствам.

Ключевыми компонентами *CLIL* выделяют так называемые 4C:

• *Content* – предметное содержание;

• *Communication* – языковая коммуникация;

• *Cognition* – когнитивное развитие;

• *Culture* – межкультурный аспект.

CLIL обеспечивает развитие критического мышления; формирование навыков академической коммуникации; повышение мотивации обучающихся.

EMI предполагает преподавание профильных дисциплин на иностранном языке без явного акцента на языковое обучение. В данной модели язык

выступает исключительно как средство передачи содержания [12, 13]. Особенностями *EMI* являются приоритет предметного содержания; минимальная языковая поддержка; высокая требовательность к уровню владения языком у студентов и преподавателей.

Модели интеграции различаются по степени вовлечённости языка и содержания (таблица 1):

Таблица 1 – **Сравнительный анализ моделей интеграции (*ESP*, *CLIL*, *EMI*) по критерию вовлечённости**

Параметр	***ESP***	***CLIL***	***EMI***
Основной фокус	Язык	Язык + содержание	Содержание
Уровень интеграции	Низкий	Средний / высокий	Высокий
Роль преподавателя	Языковой специалист	Междисциплинарный педагог	Предметный специалист
Требования к языку	Средние	Средние/высокие	Высокие

Таким образом, модели представляют собой континуум от языко-ориентированного к содержательно-ориентированному обучению.

В практике технического образования всё чаще используются гибридные модели, сочетающие элементы *ESP*, *CLIL* и *EMI*. Это позволяет учитывать уровень подготовки студентов и специфику дисциплины.

Примерами таких гибридов могут быть:

• *CLIL* с элементами *scaffolding* (языковой поддержки);

• *EMI* с предварительной языковой подготовкой (*ESP*);

• Модульные курсы, где разные темы реализуются по разным моделям.

Следует отметить, что гибкость моделей является важным условием их эффективности [12, 13].

В Иркутском ГАУ осуществлена интеграция дисциплин физико-технического цикла и английского языка на образовательных программах бакалавриата и магистратуры энергетических направлений подготовки преподавателями кафедры иностранных языков и кафедры физики и электрооборудования [1, 4, 6, 7, 11]. В этих целях разработан и внедрён в образовательный процесс интегрированный курс иностранного языка и физико-технических дисциплин [1, 5, 10]. Программа курса объединяет изучение теоретических основ электромагнетизма и специальной терминологии на английском языке (в рамках дисциплины «Иностранный язык») и русском языке (на занятиях по физике) [8, 9]. Курс направлен на формирование у студентов с базовым уровнем владения английским языком коммуникативной и общепрофессиональной компетенций. Корпус англоязычных учебных материалов сформирован на основе частотного анализа лексики из энергетических спецификаций (*datasheets*) и отраслевой документации. Содержание выстроено по принципу концептуального изоморфизма: физические законы параллельно осваиваются на лекциях и прорабатываются через чтение профильных академических текстов на английском языке. В частности, на примере темы «Конденсаторы» студенты первого и второго курсов бакалавриата одновременно осваивают

физические принципы работы данных накопителей энергии и усваивают соответствующую англоязычную терминологию [1, 5].

«Capacitors are used extensively in electronics, communications, computers, and power systems. For example, they are used in the tuning circuits of radio receivers and as dynamic memory elements in computer systems. A **capacitor** consists of two conducting plates separated by an insulator (or dielectric). A capacitor is typically constructed as depicted in Fig. 1a. (рисунок 1).

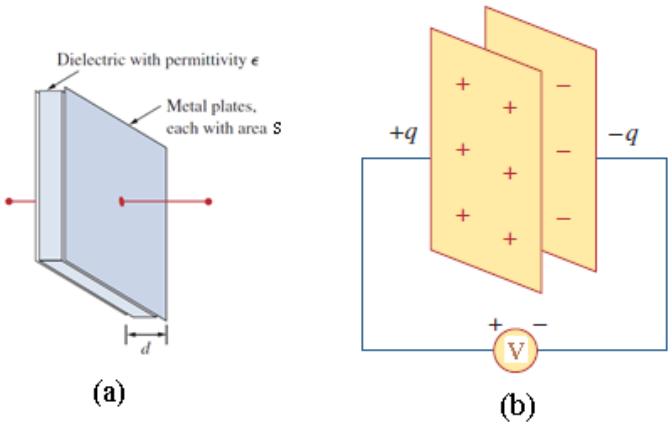


Рисунок 1 – **Fig. 1 Capacitors**

In many practical applications, the plates may be aluminum foil while the dielectric may be air, ceramic, paper, or mica. When a voltage source is connected to the capacitor, as in Fig. 1b, the source deposits a positive charge q on one plate and a negative charge on the other.

The capacitance of a plate capacitor is defined as:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q\varepsilon\varepsilon_0 S}{qd} \Rightarrow C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

where S – area of the surface of each of the plates, d – spacing between the plates, ε – dielectric permittivity of the material.

Figure 2a shows symbols of capacitors: A – non-polar, B – polar, C – AC, D – tuning. Figure 2b shows the most common types of variable capacitors (рисунок 2) [1, 5].

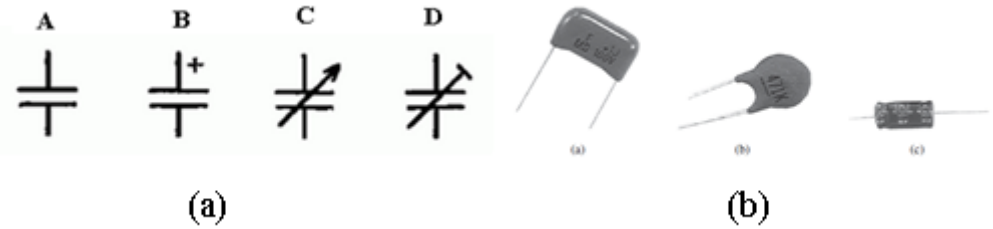
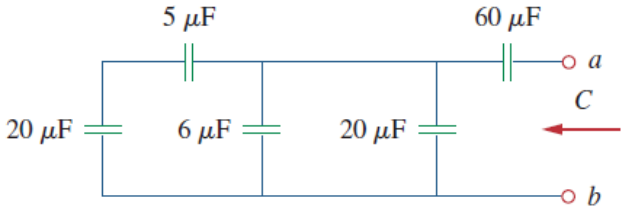


Рисунок 2 – **Fig. 2 Capacitors**

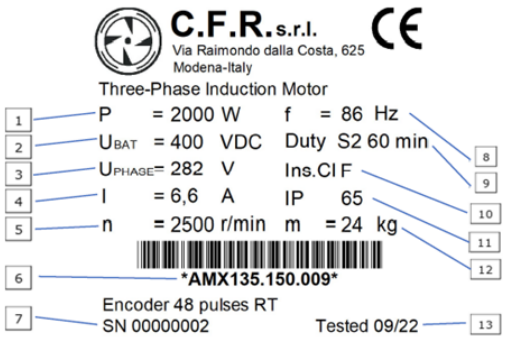
Для верификации эффективности междисциплинарной интеграции практическая часть курса базируется на решении контекстно-связанных задач. На уровне бакалавриата в рамках модели *CLIL* студентам предлагается задача на расчёт эквивалентной ёмкости при последовательном и

параллельном соединении: «*Find the equivalent capacitance seen between terminals a and b of the circuit in Fig.*» [5].



Выполнение данного задания требует от обучающихся не только применения физических формул, но и точной лингвистической дешифровки англоязычной топологии схемы.

Обучение студентов магистратуры строится по принципу предметно-языкового погружения в реальный производственный контекст. В качестве основного дидактического материала выступают аутентичные объекты энергетической инфраструктуры: заводские маркировочные таблички электротехнических установок (*rating plates* / шильдики) (рисунок 3) [10], а также эксплуатационные спецификации и технические паспорта зарубежного электрооборудования. В рамках реализации подхода *ESP* (*English for Specific Purposes*) студентам предлагаются кейс-задачи, имитирующие чтение технической документации, технических паспортов [10]. В рамках *EMI* студенту дается фотография реального шильдика электродвигателя. Пример задания: «You are an electrical supervisor at a factory. The original motor has failed. Using only the data from this nameplate, write a technical specification for a Russian supplier to find a direct analogue. Your spec must comply with GOST standards while maintaining the exact performance characteristics. Pay attention to the service factor and insulation class».



Position	Explanation	Пояснения
1	Rated power	Номинальная мощность
2	Battery voltage	Напряжение аккумулятора
3	Rated voltage	Номинальное напряжение
4	Rated current	Номинальный ток
5	Rated speed	Номинальная скорость
6	Item code	Код изделия
7	Serial number	Серийный номер
8	Frequency	Частота
9	Duty cycle	Рабочий цикл
10	Thermal class assigned to the insulation systems in accordance with IEC 60085	Тепловой класс, присвоенный системам изоляции в соответствии с МЭК 60085
11	Ingress protection code	Код защиты от проникновения
12	Approximate total motor mass	Приблизительная общая масса двигателя
13	The year of manufacture	Год изготовления

Рисунок 3 – **Шильд**

Реализация междисциплинарного подхода на базе методологий *ESP*, *CLIL* и *EMI* позволила преодолеть традиционный конфликт между языковой и предметной подготовкой. Параллельное освоение физических законов (на русском языке) и их проработка через аутентичные академические тексты (на английском) обеспечило формирование устойчивых билингвальных ментальных моделей у студентов с базовым уровнем владения языком. Апробация данной модели в Иркутском ГАУ подтверждает, что синтез предметного и

языкового компонентов через призму *ESP*, *CLIL* и *EMI* является не просто педагогическим приёмом, а стратегическим ресурсом повышения конкурентоспособности выпускников инженерных специальностей в условиях глобализации энергетики.

Список литературы

1. *Анненкова, А.В.* Интегрированный курс английского языка для студентов энергетических направлений подготовки / *А.В. Анненкова, Ю.Ю. Клибанова* ; Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – 120 с. – EDN TTBAPT.

2. *Анненкова, А.В.* Интегрированный курс иностранного языка в вузе как реализация системного подхода к формированию общепрофессиональных компетенций / *А.В. Анненкова, Ю.Ю. Клибанова* // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти А.А. Ежевского, п. Молодежный, 17-18 ноября 2022 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 230-236. – EDN EOYSGW.

3. *Анненкова, А.В.* Интегрированный курс иностранного языка как средство повышения качества образования в вузе / *А.В. Анненкова, Ю.Ю. Клибанова* // Потенциал образования для самореализации и развития талантов у молодежи : Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной Году педагога и наставника, Иркутск, 20 января 2023 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 12-16. – EDN YIHSPW.

4. *Анненкова, А.В.* Опыт создания интегрированного курса по иностранному языку для студентов энергетических направлений подготовки в ИрГАУ / *А.В. Анненкова, Ю.Ю. Клибанова* // Современные тенденции развития системы подготовки обучающихся по иностранному языку в неязыковом вузе: региональная практика : Материалы всероссийской (национальной) научной конференции, Красноярск, 10-11 ноября 2022 года. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – С. 15-18. – EDN NIOUJG.

5. *Анненкова, А.В.* Английский язык для энергетических направлений подготовки: интегрированный практический курс : Учебное пособие для вузов / *А.В. Анненкова, Ю.Ю. Клибанова.* – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2023. – 112 с. – ISBN 978-5-507-45973-5. – EDN IFZRXI.

6. Анненкова, А.В. Предметно-языковое интегрированное обучение английскому языку студентов энергетических направлений подготовки / *А.В. Анненкова, Ю.Ю. Клибанова, И.Н. Мухомедзянова* // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2024. – Т. 9, № 3. – С. 215-221. – DOI 10.30853/ped20240028. – EDN MYTHRE.

7. *Анненкова, А.В.* Пособие по переводу эксплуатационной технической документации электрооборудования с английского языка как средство совершенствования агроинженерных кадров / *А.В. Анненкова, Ю.Ю. Клибанова* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский ГАУ, 03-04 октября 2024 года. – Иркутский: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 361-366. – EDN WTHLPX.

8. *Вржащ, Е.Э.* Основы молекулярной физики и термодинамики : Пособие для студентов технических и аграрных направлений подготовки / *Е.Э. Вржащ, Ю.Ю. Клибанова*. – Дюссльдорф : LAP LAMBERT, 2022. – 74 с. – ISBN 978-620-4-74016-4. – EDN LGTOHD.

9. *Вржащ, Е.Э.* Физические основы механики / *Е.Э. Вржащ, Ю.Ю. Клибанова*. – Дюссльдорф : LAP LAMBERT, 2022. – 94 с. – ISBN 978-620-4-73220-6. – EDN BUXDKH.

10. *Клибанова, Ю.Ю.* Профессиональный иностранный язык : практикум по переводу эксплуатационной технической документации электрооборудования / *Ю.Ю.*

Клибанова, А.В. Анненкова. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, 2024. – 109 с. – EDN GTSYJA.

11. *Клибанова, Ю.Ю*. Опыт создания пособия по переводу эксплуатационной технической документации электрооборудования с английского языка для студентов аграрных вузов / *Ю.Ю. Клибанова, А.В. Анненкова* // Наука. Образование. Профессия. Science. Education. Profession : материалы III Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, Уфа, 12 марта 2024 года. – Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2024. – С. 106-109. – DOI 10.31563/978-5-7456-0908-4-2024-109-112. – EDN ATZMDH.

12. *Попова Н.В., Коган М.С., Вдовина Е.К.* Предметно-языковое интегрированное обучение (CLIL) как методология актуализации междисциплинарных связей в техническом вузе // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2018. – Т. 23. – №. 3 (173). – С. 29-42.

13. *Токарева Е.Ю.* Предметно-языковое интегрированное обучение как методика активизации процесса обучения иностранному языку // Вопросы методики преподавания в вузе. – 2017. – Т. 6. – №. 22. – С. 81-88.

Сведения об авторах

Анненкова Арина Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент, зав. кафедрой иностранных языков Иркутского ГАУ. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н., пос. Молодежный, тел.: 89148768561, e-mail: arinka26@yandex.ru.

Клибанова Юлия Юрьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры Электрооборудования и физики энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н., пос. Молодежный, тел.: 89086473947, e-mail: malozemova81@mail.ru).

Information about the authors

Annenkova Arina V. – candidate of pedagogy, associate professor, head of the department of foreign languages IrSAU. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89148768561, e-mail: arinka26@yandex.ru.

Klibanova Yulia Yu. – candidate of physical and mathematical sciences, docent of the department of electrical systemsand physics. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89086473947, e-mail: malozemova81@mail.ru).

УДК 331.453

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕСТОВ НА СООТВЕТСТВИЕ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ СТУДЕНТОВ АГРОИНЖЕНЕРОВ

Н.В. Степанов, А.А. Бричагина, А.А. Бричагин

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье обращается внимание, что при промежуточной аттестации студентов бакалавриата, обучающихся по инженерным направлениям, эффективным

является применение тестов на установление соответствия понятий, так как они оценивают не только фактические знания, но и понимание взаимосвязей между явлениями, процессами, формулами и их практическими приложениями. Приведены примеры тестов для промежуточной аттестации по дисциплине «Теория рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин» для студентов направления 35.03.06 «Агроинженерия».

Ключевые слова: тестирование, промежуточная аттестация, проверка знаний, агроинженерное образование, преподавание.

APPLICATION OF COMPLIANCE TESTS IN THE INTERIM CERTIFICATION OF AGRICULTURAL ENGINEERING STUDENTS

N.V. Stepanov, A.A. Brichagina, A.A. Brichagin

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article notes that concept matching tests are effective in the midterm assessment of undergraduate students studying in engineering programs, as they assess not only factual knowledge but also an understanding of the relationships between phenomena, processes, formulas, and their practical applications. Examples of midterm assessment tests for the course "Theory of working parts of tillage and seeding machines" for students majoring in 35.03.06 "Agroengineering" are provided.

Key words: testing, midterm assessment, knowledge assessment, agricultural engineering education, teaching.

При промежуточной аттестации по дисциплинам студентов, обучающихся в Иркутском ГАУ, используются фонды оценочных средств. Фонды оценочных средств составляются в соответствии с рабочими программами дисциплин и содержат типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций или для итогового контроля сформированности компетенций [1, 5, 9].

Промежуточная аттестация студентов требует инструментов, способных оценивать не только фактические знания, но и понимание взаимосвязей между явлениями, процессами, формулами и их практическими приложениями. Одним из наиболее эффективных видов педагогических измерений для этих целей выступают тесты на соответствие (тесты на установление соответствия понятий). В отличие от тестов с выбором одного правильного ответа, они позволяют проверить способность студента устанавливать логические, причинно-следственные и функциональные связи между элементами двух множеств [4, 6].

Тест на установление соответствия представляет собой задание, в котором студенту предлагается установить правильное соответствие между элементами одного множества (левая колонка) и элементами другого множества (правая колонка).

Задание в виде теста на установление соответствия, как правило, включает инструкцию с пояснениями по решению теста; два столбца элементов,

обозначенных цифрами и буквами с вариантами ответов; правильный вариант ответа. Такие задания компактны, позволяют охватить значительный объём учебного материала за ограниченное время и обладают высокой устойчивостью к угадыванию – вероятность случайного правильного ответа резко снижается по сравнению с бинарными и одновариантными тестами.

Преподавателям при разработке тестов на соответствие необходимо руководствоваться следующими принципами:

1. Соответствие целям обучения. Каждое задание должно проверять конкретный результат обучения, зафиксированный в рабочей программе дисциплины. Например, для курса «Теоретическая механика» это может быть умение соотносить вид движения с уравнением траектории, а для курса «Материаловедение» – умение сопоставлять марку стали с её механическими характеристиками;

2. Однозначность соответствия. Каждый элемент левой колонки должен иметь единственный правильный аналог в правой колонке. Не допускаются задания, в которых два элемента могут быть логически связаны с одним и тем же вариантом;

3. Однородность множеств. Элементы обеих колонок должны принадлежать к одному классу понятий. Недопустимо, например, сопоставлять конкретную формулу с названием целого раздела дисциплины – это нарушает логику задания;

4. Научная достоверность. Формулировки должны соответствовать принятой в данной предметной области терминологии и не допускать двусмысленного прочтения;

5. Оптимальный объём. Рекомендуется включать в левую колонку от 4 до 7 элементов, в правую – на 1-2 элемента больше. Наличие «Лишних» элементов (дистракторов) в правой колонке снижает возможность угадывания методом исключения.

При конструировании теста на соответствие преподавателю необходимо [10]:

1. Определить диагностическую цель. Формулируется, какое именно знание или умение подлежит проверке: знание классификаций, понимание взаимосвязей, владение терминологией, умение идентифицировать объекты и т.д.;

2. Отобрать учебный материал. Из содержания темы выделяются пары взаимосвязанных элементов: «Объект – характеристика», «Процесс – условие протекания», «Величина – единица измерения», «Закон – математическое выражение»;

3. Сформировать левую и правую колонки. Левая колонка обычно содержит стимульный материал (то, для чего ищется соответствие), правая – варианты для сопоставления. Элементы в правой колонке рекомендуется располагать в логическом или алфавитном порядке, не совпадающем с порядком правильных ответов;

4. Составить инструкцию. Инструкция должна быть краткой и однозначной, например: «Установите соответствие между типом двигателя и

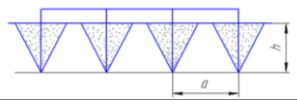
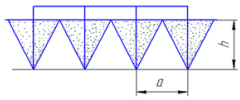
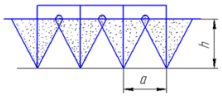
используемым в нём топливом. Каждому элементу левой колонки соответствует один элемент правой»;

5. Разработать варианты ответов. Если тест предполагает выбор из готовых комбинаций, необходимо предусмотреть правдоподобные дистракторы, составленные на основе типичных студенческих ошибок;

6. Составить эталонный ключ и критерии оценивания. Ключ фиксирует правильные пары. Критерий оценивания может быть дихотомическим (задание выполнено полностью верно – 1 балл, иначе – 0) или политомическим (балл начисляется пропорционально числу верно установленных пар);

7. Провести экспертизу и апробацию теста. Задание проверяется независимым экспертом, а затем проходит пробное тестирование на группе студентов.

Ниже на рисунках 1, 2 приведены примеры тестов на соответствие по дисциплине «Теория рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин» для студентов, обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» на инженерном факультете Иркутского ГАУ [2, 3, 7, 8].

1) 	а) согласованное расстояние между смежными бороздками и глубиной обработки
2) 	б) расстояние между смежными бороздками малое
3) 	в) расстояние между смежными бороздками большое

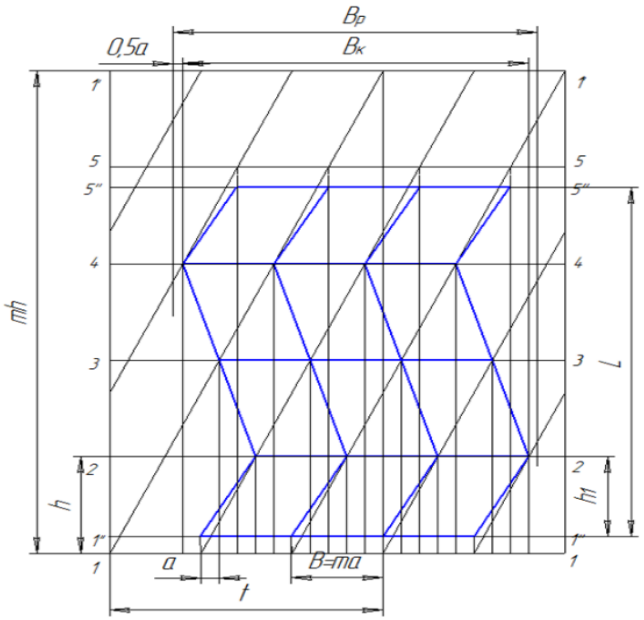
Правильный ответ: 1 - в, 2 - а; 3 – б.

Рисунок 1 – **Тест на соответствие без дистракторов**

Ответы «А» и «Б» во втором тесте являются дистракторами. Их наличие исключает возможность получения правильного ответа простым перебором оставшихся вариантов.

При политомической системе оценивания целесообразно использовать следующую шкалу: если все пары установлены верно студент получает максимальный балл; одна ошибка – 75 % от максимума; две ошибки – 50 %; более двух ошибок – 0 баллов. Подобная градация позволяет более дифференцированно оценить уровень подготовленности студента и снижает влияние случайных ошибок на итоговый результат.

Тесты на соответствие занимают важное место в системе контроля знаний студентов аграрных вузов, поскольку позволяют оценивать именно те интеллектуальные операции, которые составляют основу инженерного мышления – установление связей, классификацию, идентификацию и сопоставление [10].



1) $B_к$	а) расстояние между продольными планками
2) B	б) рабочая ширина захвата бороны
3) a	в) конструктивная ширина захвата бороны
4) h	г) расстояние между смежными бороздками
	д) расстояние между зубьями на поперечной планке
	е) расстояние между поперечными планками

Правильный ответ: 1 – в, 2 – д, 3 – г, 4 – е.

Рисунок 2 – **Тест на соответствие с дистракторами**

Методически грамотное конструирование таких заданий требует от преподавателя чёткого осознания диагностической цели, соблюдения требований однородности и однозначности, продуманного подбора дистракторов и последующей статистической проверки качества.

Список литературы

1. *Белобородова, В.Г.* Профильная олимпиада в аграрном колледже / *В.Г. Белобородова, А.А. Бричагина* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы всероссийской студенческой научно-практической конференции : в IV томах, Иркутск, 17-18 февраля 2022 года. Том IV. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 8-12. – EDN YSSLVA.

2. *Бричагина, А.А.* Обзор технических средств, применяемых для внесения органических удобрений / *А.А. Бричагина, А.Е. Кузьмин* // Вестник ИрГСХА. – 2011. – № 42. – С. 51-57. – EDN NDKXRX.

3. *Бричагина, А.А.* Повышение эффективности работы высевающего аппарата зерновой сеялки: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / *Бричагина Анастасия Александровна.* – Иркутск, 2008. – 151 с. – EDN NQHZUX.

4. *Бричагина, А.А.* Соответствие учебного тренажера реальной кабине зерноуборочного комбайна / *А.А. Бричагина* // Аграрное образование и наука. – 2023. – № 2. – С. 11. – EDN LOUIPS.

5. *Бричагина, А.А.* Студенческий научный кружок - эффективная форма научно-исследовательской деятельности студентов / *А.А. Бричагина, А.Е. Пасынкова* // Потенциал образования для самореализации и развития талантов у молодежи : Материалы

региональной научно-практической конференции, посвященной Году педагога и наставника, Иркутск, 20 января 2023 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 35-38. – EDN KWAGRE.

6. *Васильев, Ф.А.* Гидравлика : Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины и задания для контрольных работ студентам-заочникам направления 35.03.06 Агроинженерия направления 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника направления 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов / *Ф.А. Васильев, В.В. Пальвинский, А.С. Васильева.* – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2018. – 88 с. – EDN XSZMXJ.

7. *Петрова, П.Д.* Существующие и перспективные средства для орошения селькохозяйственных культур / *П.Д. Петрова, В.В. Пальвинский, В.Н. Хабардин* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, п. Молодежный, 20-21 февраля 2025 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 946-952. – EDN LXKKEJ.

8. *Петрова, П.Д.* Существующие способы и приемы полива и орошения / *П.Д. Петрова, В.В. Пальвинский, В.Н. Хабардин* // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК : Материалы заочной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Энергетического факультета Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 12 декабря 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 99-100. – EDN FDJQSJ.

9. *Серых, В.Н.* Тестирование как форма проверки знаний по безопасной эксплуатации сельскохозяйственной техники / *В.Н. Серых, А.А. Бричагина* // Безопасность в техносфере : Материалы международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Молодежный, 27 марта 2026 года. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 631-634. – EDN MGEAKT.

10. *Хантакова, В.М.* Английский язык: сельскохозяйственные машины: Учебное пособие для магистрантов инженерных специальностей. В 2 частях / *В.М. Хантакова, А.А. Бричагина, С.В. Швецова.* – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2025. – 114 с. – EDN OWSEHA.

Сведения об авторах

Степанов Николай Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭМТП, БЖД и ПО», Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный), тел.: 89021710629, e-mail: anabri8t@gmail.com).

Бричагина Анастасия Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК», Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный), тел.: 89021710629, e-mail: anabri8t@gmail.com).

Бричагин Андрей Андреевич – студент 4 курса инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный), тел.: 89021710629, e-mail: anabri8t@gmail.com).

Information about the authors

Stepanov Nikolaj V. – kandidat tekhnicheskih nauk, docent kafedry «EMTP, BZhD i PO», Irkutskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni A.A. Ezhevskogo (664038, Rossiya, Irkutskaya oblast', Irkutskij rajon, p. Molodezhnyj), tel.: 89021710629, e-mail: anabri8t@gmail.com).

Brichagina Anastasiya A. – kandidat tekhnicheskih nauk, docent kafedry «Tekhnicheskoe obespechenie APK», Irkutskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni A.A. Ezhevskogo

(664038, Rossiya, Irkutskaya oblast', Irkutskij rajon, p. Molodezhnyj), tel.: 89021710629, e-mail: anabri8t@gmail.com).
Brichagin Andrej A. – student 4 kursa inzhenernogo fakul'teta, Irkutskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni A.A. Ezhevskogo (664038, Rossiya, Irkutskaya oblast', Irkutskij rajon, p. Molodezhnyj), tel.: 89021710629, e-mail: anabri8t@gmail.com).

УДК 377.6

ПРОБЛЕМНОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ У СТУДЕНТОВ

А.Р. Сухаева

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Проблемное обучение следует понимать, как метод, который, дополняя традиционные подходы, способствует комплексному развитию студентов. Оно стимулирует их чувства, логическое мышление, память и формирует целостную, активно мыслящую личность. Данные рекомендации по разработке учебного занятия, построенные вокруг реальной экологической проблемы, полностью соответствует целям проблемного обучения. Студенты самостоятельно выдвигают гипотезы, анализируют информацию, работая в группах, они оценивали предложенные варианты решения с точки зрения экологической, экономической и социальной эффективности, что позволяет повысить интерес к учебной дисциплине и понимание его практической значимости.

Ключевые слова: Проблемное обучение, метод, технология, студенты, деятельность, игра, дискуссия, занятия, учебная дисциплина.

PROBLEM-BASED LEARNING AS A METHOD FOR INCREASING THE PRACTICAL SIGNIFICANCE OF ACADEMIC DISCIPLINES FOR STUDENTS

A.R. Sukhaeva

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. Problem-based learning should be understood as a method that, complementing traditional approaches, contributes to the comprehensive development of students. It stimulates their emotions, logical thinking, memory, and fosters a holistic, actively thinking personality. These recommendations for developing a training session, built around a real environmental problem, fully align with the goals of problem-based learning. Students independently formulate hypotheses, analyze information, and, working in groups, evaluate the proposed solutions from the perspective of ecological, economic, and social efficiency, which helps to increase interest in the academic discipline and enhance understanding of its practical significance.

Key words: problem-based learning, method, technology, students, activity, game, discussion, sessions, academic discipline.

Роль преподавателя в современном образовании требует владения разнообразными подходами к обучению, включая как передачу готовых знаний, так и стимулирование самостоятельного поиска.

В своей роли организатора учебного процесса, преподаватель должен выступать скорее в качестве наставника и проводника, нежели просто источника информации и указаний.

В процессе профессиональной подготовки студентов преподаватель должен уметь распознавать трудности, с которыми сталкиваются студенты, и формулировать для них конкретные, достижимые учебные цели [1, 3].

Выступать в роли координатора и равноправного партнера, оказывать поддержку отдельным студентам и группам в их исследовательской деятельности, при этом избегая авторитарных методов.

Замотивировать, развить стимул и интерес студентов к изучаемой дисциплине и процессу её глубокого осмысления, развивать их творческий потенциал через грамотно сформулированные вопросы.

Пусть преподаватель и не всегда находится в центре внимания, это не уменьшает его значимости. Его роль скорее роль невидимого дирижера. Несмотря на то, что студенты выходит на передний план, именно преподаватель является истинным двигателем всего происходящего. От его действий зависит, как будет развиваться студент.

Преподаватель же становится настоящим мастером своего дела, когда способен зажечь в студентах искру таланта и креативности, направляя их энергию в русло эффективного обучения.

Проблемное обучение – это мощный инструмент, который стоит применять, когда:

- Учебный материал богат взаимосвязями, формирует ключевые понятия, законы и теории.

- Учащиеся готовы к активному поиску решений и самостоятельному освоению материала.

- Задачи стимулируют развитие критического мышления, исследовательских навыков и творческого подхода [6].

Разработка рекомендаций учебного занятия по дисциплине «Экология» с применением технологии проблемного обучения позволили сделать следующие выводы и отметить ключевые результаты. Приведем пример структуры учебного занятия.

В структуру данного занятия входит:

Организационный момент (создание положительного настроя, с целью активизации мыслительной деятельности студентов);

Целевая установка (постановка проблемного вопроса по экологии);

Аудиторная работа в группе (на этом этапе можно продемонстрировать информацию по экологической проблеме);

Групповая дискуссия;

Ролевая игра (каждая группа получает роль, затем проводят обсуждение ролей и принятие решений с учётом интересов разных сторон);

Проведение фронтального опроса:

- Достигнута ли цель занятия на взгляд учащихся?
- Найдены ли решения в поставленных проблемах?
- Где можно применить знания, полученные на занятиях?);

Подведение итогов (оценивание аудиторной самостоятельной работы, оценивание ролевой игры).

Оценивание аудиторной работы происходит следующим образом. Выбирают критерии оценивания к примеру: Глубина и точность анализа, структура и ясность презентации, креативность и практическая ценность и т.д. Критерию оценивания дают пояснения и определяют баллы.

Участие в самой игре тоже оценивается по такой же методике. Предусматривается бонусные баллы за активность на этапе опроса. Максимальный балл переводится в рейтинговую или традиционную оценку по установленной шкале (к примеру: 20-22 – «отлично», 16-19 – «хорошо», 9-15 – «удовлетворительно»).

Занятие, построенное вокруг реальной экологической проблемы (на примере ситуации с вырубкой леса), полностью соответствует целям проблемного обучения.

Оно способствовало не только усвоению теоретических знаний, но и активному развитию у студентов.

Познавательная самостоятельность у студентов проявляется выдвижении гипотезы, в поиске и анализе информации [2].

Критическое и системное мышление проявляется, работая в группах, студенты оценивали предложенные варианты, решения с точки зрения экологической, экономической и социальной эффективности.

Навыков решения комплексных задач от идентификации проблемы до предложения конкретных мер и оценки их последствий.

Мотивации к обучению, личная вовлеченность в решение актуальной проблемы повышает интерес к занятию, и вообще к дисциплине, также к его практической значимости.

Проблемная ситуация, выступающая в качестве «Отправной точки» занятия, доказала свою высокую эффективность. Она создала условия для активной дискуссии, столкновения мнений и глубокого осмысления материала [5].

Групповая форма работы позволила развить коммуникативные навыки и способность к коллективному поиску решений [7, 8].

Роль преподавателя трансформировалась из транслятора знаний в роль консультанта и направляющего, что соответствует современным требованиям к образовательному процессу.

Метод проблемного обучения напрямую связывает теорию с практикой. Студенты не просто изучают экологические понятия, а применяют их для анализа реальных ситуаций.

Это воспитывает чувство личной ответственности за состояние окружающей среды, формирует экологическое сознание и готовит будущих специалистов к принятию обоснованных решений в профессиональной и гражданской деятельности [4].

При проведении занятия могут возникнуть определённые сложности. Для этого можно предложить следующие рекомендации.

Возникшие сложности:

- Неравномерная активность участников в группах;
- Необходимость строгого контроля времени на каждом этапе (постановка проблемы, анализ, решение, презентация);
- Потребность в тщательной подготовке дидактических материалов (раздаточные данные, медиа-контент), обеспечивающих достоверность и наглядность проблемы.

Внедрять элементы рефлексии не только в конце, но и в процессе занятия для оперативной корректировки работы.

Применение проблемного обучения в преподавании дисциплины «Экология» является высокоэффективной и современной педагогической технологией.

Оно позволяет преодолеть формализм в усвоении знаний, трансформируя учебный процесс в исследовательскую, проектную деятельность.

Разработанные рекомендации по проведению занятия даёт подход не только повышении качество образования, но и вносит существенный вклад в формирование экологически грамотной, критически мыслящей и социально-ответственной личности.

Список литературы

1. *Алтухова, Т.А.* Планирование и рационализация учебно-профессиональной деятельности студентов / *Т.А. Алтухова* // Вестник ИрГСХА. – 2010. – № 38. – С. 130-137.

2. *Алтухова, Т. А.* Организация самостоятельной работы студентов ВУЗА / *Т.А. Алтухова, Е.П. Бальжанова* // Вестник ИрГСХА. – 2008. – № 33. – С. 98-103. – EDN MNLIOV.

3. *Бодякина, Т.В.* Профессиональная компетентность педагога в современном обществе / *Т.В. Бодякина, Е.В. Елтошкина, Л.И. Санеева* // Роль преподавателя в современном вузе : Сборник статей международной научно-методической конференции, Улан-Удэ, 21-24 марта 2017 года. Том 3. Выпуск 24. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2017. – С. 205-212.

4. *Иванов, Е.А.* Экологическая безопасность: проблемы и пути решения / *Е.А. Иванов, С.П. Голышева* // Безопасность в техносфере : Материалы Международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 27 марта 2025 года. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 135-137. – EDN MPEKPM.

5. *Сухаева, А.Р.* Эффективность повышения качества профессиональной подготовки специалиста / *А.Р. Сухаева* // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2012. – № 3. – С. 29-31.

6. *Сухаева, А.Р.* Рациональное использование нетрадиционных форм обучения в учебном процессе / *А.Р. Сухаева, Т.А. Алтухова* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06-08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 367-372.

7. *Корниенко А.К.* Методическая разработка игры для кураторского часа в форме «Квиз» / *А.К. Корниенко, М.В. Чубарева* // В сборнике: Научные исследования студентов в

решении актуальных проблем АПК. Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – п. Молодежный, 2023. – С. 313-317.

8. *Чубарева, М.В.* Анализ игровых форм получения знаний студентов / *М.В. Чубарева, А.К. Корниенко* // В сборнике: Потенциал образования для самореализации и развития талантов у молодежи. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной Году педагога и наставника. – Иркутск, 2023. – С. 55-58.

Сведения об авторе

Сухаева Анна Радионовна – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭМТП, БЖД и ПО (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел.: +79027674765, e-mail: suhaewa@yandex.ru).

Information about the author

Sukhaeva Anna R. – is a candidate of technical sciences, associate professor at the department of EMTP, BZhD and PO (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, settlement Molodezhny, tel. +79027674765, e-mail: suhaewa@yandex.ru).

УДК 378.016

ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «РУССКИЙ ЯЗЫК И КУЛЬТУРА РЕЧИ» СТУДЕНТАМ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Т.В. Факторович

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского п.
Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Статья содержит описание проблем, связанных с преподаванием русского языка и культуры речи для агроинженеров, а также рассмотрение путей их решения. Усиление профессионального блока внутри дисциплины, дифференциация обучения, интерактивные и практико-ориентированные методы позволят мотивировать студентов улучшать свою речь и существенно влияют на качество подготовки к профессиональному общению.

Ключевые слова: агроинженер, дисциплина «Русский язык и культура речи», мотивация, уровень подготовки, задания коммуникативно-ориентированные, речевые ситуации, профессиональное общение.

CHALLENGES IN TEACHING THE COURSE "RUSSIAN LANGUAGE AND SPEECH CULTURE" TO AGRO-ENGINEERING STUDENTS

T.V. Faktorovich

Annotation. Annotation. The article describes the problems associated with teaching the Russian language and speech culture to agro-engineers, as well as considers ways to address them. Strengthening the professional component within the discipline, differentiating the learning process, and using interactive and practice-oriented methods will motivate students to improve their speech and significantly affect the quality of their preparation for professional communication.

Key words: agro-engineer, the discipline “Russian Language and Speech Culture”, motivation, level of training, communication-oriented tasks, speech situations, professional communication.

В современных условиях главной проблемой профессионального образования становится подготовка специалиста с оригинальным системным мышлением, готовностью решать нестандартные, узкоспециальные задачи, обеспечение условий для развития социальной и образовательной мобильности.

Основная задача дисциплины «Русский язык и культура речи» в высшем учебном заведении – содействовать развитию и формированию у обучающихся коммуникативно-речевых умений для общения в профессиональных и социальных ситуациях, а также способствовать формированию осознанного отношения к своей речи и потребности в её совершенствовании. Однако преподавание этой дисциплины в аграрных вузах сталкивается с определёнными трудностями: её прикладная ценность для будущих инженеров часто неочевидна, а содержание слабо привязано к профессиональной деятельности.

Цель статьи – проанализировать важнейшие проблемы и предложить возможные решения, адаптированные под студентов агроинженерного профиля.

Проблема 1. Низкая мотивация и восприятие дисциплины «Не по специальности»

Многие исследователи отмечают, что студенты агроинженерных направлений приходят с установкой на техническую специализацию и считают гуманитарные дисциплины (культуру речи, историю, философию, психологию, социологию, иногда иностранные языки) второстепенными [3, 4, 7].

Особое удивление вызывает дисциплина «Русский язык и культура речи» в расписании занятий: опять диктанты, сочинения, студенты 1 курса не предполагают, что речь пойдёт о профессиональной коммуникации.

Проявляется такое первоначальное восприятие и отношение в следующем: они считают её второстепенной и часто пропускают занятия, формально относятся к выполнению заданий самостоятельной работы, слабо вовлекаются в дискуссии и ролевые упражнения; ожидают «Лёгкой» дисциплины с минимальными требованиями. Это особенно критично для агроинженеров: в реальной работе им приходится вести переписку с поставщиками и подрядчиками, составлять заявки и дефектные ведомости, участвовать в совещаниях, защищать проекты и писать отчёты. Ошибки и стилистические неточности снижают доверие к экспертности специалиста.

Проблема 2. Низкий и разнородный стартовый уровень подготовки студентов

Исследования в аграрных вузах показывают, что большинство обучающихся в сельскохозяйственных вузах из небольших городов и сёл имели разные возможности и условия обучения и общения по сравнению с молодыми людьми из крупных городов [7]. Причина низкого базового уровня речевых

умений сельских ребят кроется, на наш взгляд, в нехватке сельских учителей, сильном влиянии местного речевого окружения.

Сложностью является не только то, что в одной группе могут учиться студенты с очень разным уровнем подготовки (с серьёзными пробелами и уверенным владением нормами), но и наличие иностранных студентов, не владеющих русским языком даже на элементарном уровне. Для них русский язык не родной, и стандартные задания по культуре речи могут быть избыточно сложными. Преподаватели многих дисциплин, как общих, так и специальных не всегда владеют приёмами работы с разнородной аудиторией. В результате аудиторное время нередко тратится на ликвидацию базовых пробелов, а сильные студенты не получают достаточной нагрузки и теряют интерес.

Проблема 3. Недостаток подходящих для агроинженеров учебных материалов и заданий

Профессиональная ориентация курса «Русский язык и культура речи» многими преподавателями частично решается путём самостоятельного кропотливого подбора специальных текстов для анализа их стилевой и жанровой принадлежности, слов и терминов для изучения норм). Однако студенты слабо видят связи между темой занятия и будущей работой, поскольку спецдисциплины по учебным планам не изучаются на 1 курсе.

Примеры материалов с учётом специфики агроинженерной профессии выглядят так: 1) Ударения в профессиональных словах: агроинженерия, гусеничный, ходатайство, договор, свёкла и др. Эти слова регулярно встречаются в речи специалистов, и ошибки в них сразу снижают профессиональный имидж; 2) Работа с документами, характерными для агропредприятий и сервисных служб: инструкции, заявки, дефектные ведомости, акты осмотра техники. Это реальные тексты, которые студенты должны уметь читать и составлять, редактировать; 3) Ситуационные задачи на профессиональную коммуникацию (совещание, доклад, дискуссия по техническому заданию).

Проблема 4. Сокращение часов и перевод в разряд факультативных дисциплин, наличие лекций

Во многих вузах объём часов на «Русский язык и культуру речи» сокращается (32 или 40 аудиторных часов), а сама дисциплина переводится в категорию по выбору или даже исключается из учебного плана [3]. Кроме того, в большинстве учебных планов ровно половина часов отводится на лекции, а в это время развитие речи студентов имеет явно пассивный характер. Считаем, что дисциплина должна быть максимально ориентирована на практику речи и полностью переведена в плоскость практических занятий, как и дисциплина «Иностранный язык».

Мы предлагаем ряд решений для вышеназванных проблем.

1. Для повышения мотивации студентов к изучению дисциплины заинтересовать тем, что культура речи позволит им во-первых, глубже разобраться в себе и узнать себя (самоанализ владения устной и письменной речью, своего невербального имиджа, обязательная обратная связь по всем высказываниям и выступлениям студентов, исключающая критику), во-вторых, устранить серьёзные пробелы в базовых знаниях: регулярно проводить консультации и

дополнительные занятия для тех, кто желает быть компетентным, легче осваивать спецдисциплины, в-третьих, увеличить количество интересных коммуникативно-ориентированных заданий, в частности обогатить их опыт публичных выступлений разных видов [1], в четвёртых, систематически опираться на онлайн-сервисы проверки грамотности, стилистики и канцеляризмов (в учебных целях) [6], шаблоны документов, базы типовых формулировок. Это помогает студентам быстрее освоить стандарты деловой переписки и привыкнуть к формализованному стилю, который требуется в технической среде.

2. Наличие дифференцированных заданий и обобщающих таблиц и текстов образцов [3, 5] позволит всем студентам чувствовать себя уверенно, не прибегать к сравнению с другими и в определённой мере сгладить разнородность аудитории на практических занятиях по культуре речи. При этом желательно начинать с входного экспресс-теста на базовые нормы для разделения на подгруппы или для планирования индивидуальных заданий, а также разработать и предлагать отдельные «маршруты»: базовый (ликвидация пробелов) и продвинутый (написание статей, подготовка докладов, презентаций, защита проектов).

3. Для усиления профессиональной составляющей считаем полезным привлекать преподавателей профильных кафедр для формулирования реальных задач и образцов документов. Например, кафедра эксплуатации машин может предоставить типовые формы заявок и актов, а кафедра электрооборудования – примеры технических описаний и спецификаций. На этой основе можно создавать задания, которые выглядят как «Настоящая работа», а не как учебные упражнения. А в пособии усилить блок «Профессиональная лексика и нормы произношения в агроинженерии»: список слов с ударениями, типичные ошибки, мини-диктанты; разбирать реальные документы: заявки на ремонт, акты осмотра, дефектные ведомости как образцы официально-делового стиля; моделировать профессиональные ситуации: «Вы – инженер, нужно написать письмо поставщику о несоответствии запчастей», «Вы – руководитель бригады, нужно оформить служебную записку о поломке». Агроинженер должен уметь общаться в разных ситуациях: с подчинённым (одним и группой), равным по статусу, с руководителем.

4. Чаще использовать интерактивные и практико-ориентированные методы: разбор и редактирование реальных (или реалистичных) текстов: письма, заявки, отчёты; ролевые игры: совещание по ремонту техники, обсуждение сроков поставки, конфликтная ситуация с подрядчиком; речевые ситуации: «Объясните коллеге суть проблемы с техникой за 2 минуты», «Расскажите о результатах работ заказчику», «В письме поставщика ошибка / неясность, сформулируйте уточняющий запрос», «Расскажите о себе как о специалисте».

Имеющиеся у преподавателя учебно-методические материалы должны учитывать профильную специализацию и содержать проблемные задания. Преподаватель-лингвист не владеет агроинженерной специальностью, и поэтому необходимо межкафедральное сотрудничество в отборе содержания и профессионально ориентированных заданий. Использование цифровых

инструментов позволит эффективно организовать самостоятельную работу студентов.

Список литературы

1. *Анненкова, А.В.* Опыт обучения студентов самопрезентации на занятиях в Иркутском ГАУ / *А.В. Анненкова, Т.В. Факторович* //Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы XV Международной научно-практической конференции., п. Молодёжный, 23-24 апреля 2026 года. – п. Молодёжный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2026. – С. 649-654.

2. *Баркова, Ю.М.* Хорошая речь – основа культуры профессионального общения инженера / *Ю.М. Баркова.* – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2012. - № 2 (37). – С. 293-296

3. *Камуз, В.В.* Развитие культуры речи студентов в процессе профессиональной подготовки (на примере сельскохозяйственного вуза) / *В.В. Камуз* // Известия Самарского научного центра РАН. – 2008. – № 6. – С. 41-45.

4. *Кравченко, И.Н.* Актуальные проблемы преподавания гуманитарных дисциплин в аграрных вузах / *И.Н. Кравченко, Е.В. Туфанов* // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2014. – № 2. – С 248-251.

5. *Любезнова, Н.В.* Особенности преподавания дисциплины «Русский язык и культура речи» в аграрном вузе // *Н.В. Любезнова, И.С. Выходцева, И.В. Садилов*. Современное образование. – 2018. – № 2. – С. 149-154.

6. Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ – русский язык для всех http://www.gramota.ru/).

7. *Тенчурина, Л.З.* К проблеме формирования коммуникативно-речевых компетенций студентов агроинженерных вузов / *Л.З. Тенчурина, Л.М. Кузьмичёва* // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2011. – №3. – С.75-77.

Сведения об авторе

Факторович Татьяна Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел.: +79021709006, e-mail: rtv-ped.irk@bk.ru).

Information about the author

Faktorovich Tatiana V. – candidate of pedagogical sciences, associate professor at the department of foreign languages (664038, Russia, Irkutsk oblast, Irkutsk district, settlement Molodezhny, tel.: +79021709006, e-mail: rtv-ped.irk@bk.ru).

УДК 811.11-112

РОЛЬ И МЕСТО ИНТЕГРАТИВНОГО ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В НЕЯЗЫКОВОМ ВУЗЕ

В.М. Хантакова, С.В. Швецова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье рассматривается значимость интегративного подхода при обучении студентов инженерных специальностей иностранному языку. Принцип интеграции, составляющий фундаментальную основу всей организации языковой системы,

выступает не только в качестве объединяющего смыслового компонента элементов языка для специальных целей, но и способствует максимально детальной передаче глубинных и профессиональных смыслов. В статье доказывается, что обучение иностранному языку для специальных целей будет протекать эффективнее, если отбор и использование языкового материала и его организация в учебном процессе будет производиться с учётом принципа интеграции.

***Ключевые слова**:* принцип интеграции, интегративный подход, иностранный язык, язык для специальных целей, смысл, профессиональный смысл.

THE ROLE AND PLACE OF AN INTEGRATIVE APPROACH IN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE IN A NON‑LINGUISTIC UNIVERSITY

V.M. Khantakova, S.V. Shvetsova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article examines the importance of an integrative approach in teaching foreign languages to students of engineering specialties. The principle of integration, which forms the fundamental basis of the entire organization of the language system, acts not only as a unifying semantic component of language elements for special purposes but also contributes to the most detailed conveyance of profound and professional meanings. The article proves that teaching a foreign language for special purposes will be more effective if the selection and use of language material and its organization in the educational process are carried out taking into account the principle of integration.

Key words: integration principle, integrative approach, foreign language, language for specific purposes, meaning, professional meaning.

Статья посвящена уточнению роли и места интегративного подхода в обучении иностранному языку студентов инженерных специальностей. Сама по себе мысль о фундаментальной значимости интегративного подхода как важного условия обучения, обеспечивающего усвоение иностранного языка, сегодня не так уж нова.

О признании действия принципа интеграции как фундаментальной основы всей организации языковой системы свидетельствуют значимые достижения базисных наук лингводидактики – педагогики, психологии, лингвистики. Принцип интеграции уже давно стал предметом изучения многих исследователей и не только «Обеспечил» многообразие и внедрение действенных методик обучения иностранному языку с учётом соединения теоретических знаний и практического умения их использовать в различных ситуациях общения, но и доказал необходимость признания межпредметных связей с постоянной систематизацией ранее изученного материала.

Однако, несмотря на значимость принципа интеграции, задающей общие рамки организации изучения иностранного языка и его обучения, некоторые весьма важные аспекты его применения в лингводидактике остаются до сих пор вне поля зрения исследователей. Осознав, что интеграция необходима на всех этапах обучения иностранному языку (как на уровне всей системы

обучения, так и на уровне отдельных тематических блоков), не всегда отдаётся отчёт в том, что этот принцип присущ каждому элементу языковой системы и должен быть объективирован на каждом этапе обучения иностранному языку [1].

В связи с этим имеет смысл с этих позиций выделить в качестве объекта исследования в настоящей статье отбор изучаемого языкового материала с последовательным его введением в учебный процесс.

Обучение иностранному языку студентов инженерных специальностей, ориентировано, прежде всего, на профессионально ориентированную составляющую иноязычной подготовки в вузе, включающей в себя знание специальной терминологической системы и умение использовать её для решения поставленных в вузе профессиональных и академических задач. Следовательно, предметом исследования настоящей статьи избирается действие в языке для специальных целей как одного из новых объектов науки о языке конца XX и начала XXI столетий принципа интеграции, позволяющей научить максимально детальной передаче глубинных и профессиональных смыслов, свойственных единицам языка для специальных целей.

Актуальность этой темы имеет двоякую направленность. Прежде всего, она обусловлена недостаточным применением принципа интеграции при разработке учебных материалов и заданий, отбором материала и его организацией в учебном процессе. С другой стороны, актуальность данного исследования обусловлена дальнейшим изучением единиц специального языка, за которыми стоит профессионально-научное знание, накопленное экспертным сообществом за весь период существования рассматриваемой области знания.

Новизна исследования заключается в обосновании интегративного подхода и его практического внедрения в обучение иностранному языку студентов инженерных специальностей.

Исследование исходит из гипотезы о том, что обучение иностранному языку для специальных целей будет протекать эффективнее, если отбор и использование языкового материала и его организация в учебном процессе будет производиться с учётом принципа интеграции.

Основанием для такого вывода является признание точки зрения известного исследователя В. Гумбольдта о языковой деятельности как формы жизни человека [2]. Язык вообще и язык для профессиональных целей в частности встроены в жизнь и профессиональную деятельность человека и не могут быть осознаны без обращения к ним [3, 4]. Язык, все его подсистемы и семантические константы связаны с сущностью человека, поэтому описать его единицы в полном объёме нельзя в отрыве от человека, сущность которого «… покоится в языке» [5, с. 259].

В соответствии с этим, следует признать, что любое исследование языкового явления зависимо не только от интенций или конкретных намерений говорящего. Прежде всего, исследование и описание любого языкового явления зависимы от выражаемого им референта в целом [6, 7]. Действительно, как бы подробно и точно не был представлен языковыми средствами объект действительности, представление о нём останется неполным, пока не будет

достигнуто его полное описание. Это с логической ясностью вытекает из того факта, что все явления и предметы, которые мы наблюдаем, описываем, формируем и передаём о них информацию, являются частью одного целого. Подчеркнём ещё раз, что чёткое разграничение части и целого помимо безусловных достоинств могут иметь свои недочёты и уязвимость.

Поэтому отдельное слово или отдельный термин вне целого сами по себе ничего содержательного не означают и ни на что не указывают. Они приобретают значимость, входя в состав целого. Ещё Г.В.Ф. Гегель писал по поводу значения целого для частей организма: «Их живое единство им небезразлично, а, напротив, представляет собою субстанцию, в которой и через посредство которой они только и могут сохранять свою собственную индивидуальность» [8, с. 124].

Но, чтобы понять мир и обозначить его сущности, человек прибегает к вычленению явлений или предметов из единой системы целого. При попытке вычленения единичного из единой системы целого сохраняются все связи, существующие в пределах целого несмотря на то, что они становятся нередко невидимыми и явно ощущаемыми. Тем не менее, внимание исследователя должно концентрироваться не на частностях, а на характере интегративного взаимодействия частей целого, в нашем случае, языка в целом, что соответствует основной предпосылке всякого лингвистического и лингводидактического анализа – системного понимания и объяснения лингвистических явлений в их взаимосвязи и взаимообусловленности.

Ряд трудностей, возникших при обучении иностранному языку, в том числе и при обучении иностранному языку студентов инженерных специальностей, является результатом углубляющегося противоречия между всё возрастающим объёмом целого и дифференциацией этого целого на элементы. С теоретической точки зрения исследование ни целого, ни эго частей не является привилегированным. Более того, в конечном итоге они вместе даёт более полное описание языкового явления и вместе с тем более полное понимание, как работать с тем или иным материалом в практике обучения студентов иностранному языку. С практической точки зрения этот единый диалектический процесс нередко нарушается, в результате чего языковые единицы представляют собой не выражения единого целое, а хаотичное скопление. Это является, к сожалению, не единичным явлением в большинстве учебных пособий и в разработке методических рекомендаций.

В настоящей работе ограничимся разбором двух моментов хаотичного выбора языкового материала. Хаотичность проявляется, на наш взгляд, в поэлементной организации выбора, введения и отработки материала в процесс работы с профессионально ориентированным языком при общем концентрическом подходе, т.е., в привилегированном выборе работы с изолированными языковыми явлениями вне соотнесения их с целым.

В первую очередь, речь идёт о работе с терминологическим фондом изучаемой научной области знания. Анализ учебных материалов и пособий показывает, что изучение терминологии не включает в себя выявление синонимических наименований, в которых закреплена и хранится система знаний о

сфере деятельности, которую они обслуживают. И в этом нет ничего удивительного, поскольку в учении о терминах синонимия как универсальная константа языка, долгое время не признавалась и оставалась за рамками исследований [9, 10]. Научные объекты могут быть представлены в языке, в том числе и в терминологической системе, в разных формах, что открывает возможность раскрытия всех содержащихся в них смысловых оттенков полностью. Игнорирование этого факта в лингводидактике оставляет многие стороны изучаемого объекта скрытыми, что ограничивает его познание.

Другой момент связан с усвоением грамматики иностранного языка. Как правило, изучение грамматических явлений основывается на знакомстве отдельно взятой, изолированной грамматической единицы вне связи с другими сходными по смыслу единицами грамматики. Грамматическая единица вводится обособленно от других явлений, при этом даётся лишь своей набор отличительных признаков, что позволяет обучающемуся действовать только в узком поле одного средства вне осмысления его как части целого. Так порождается «Грамматическая ненастороженность» при выборе форм, что объясняется отсутствием языковых единиц в рамках бинарной оппозиции или нескольких единиц в парадигме.

Итак, специфика языкового материала при обучении иностранному языку для специальных целей требует такого подхода к организации его усвоения, который позволит все единицы, в том числе и терминологические, с точки зрения способа выражения содержания. Главным в этой связи является не знакомство и тренировка отдельно взятой грамматической формы, не знакомство и запоминание отдельно взятого термина, а достижение гибких, способных к варьированию, навыков. Это обеспечивается, если языковые единицы выступают как элементы системы, в познании которой интегративность выступает регулирующим моментом.

Список литературы

1. *Хантакова, В.М.* Синонимические единицы в научно-популярных медицинских текстах / *В.М. Хантакова* // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, 2005. - № 1 (39). – С. 222-225.

2. *Гумбольдт, В.* О различии строения человеческих языков и его влиянии на духовное развитие человечества / *В. Гумбольдт.* Избранные труды по языкознанию. – М. : Прогресс, 1984. – С. 37-298.

3. *Арутюнова, Н.Д.* Лингвистические проблемы референции / *Н.Д. Арутюнова* // Новое в зарубежной лингвистике. – М. : Радуга, 1982. – Вып. 13: Логика и лингвистика (Проблемы референции). – С. 5-40.

4. *Падучева, Е.В.* Высказывание и его соотнесённость с действительностью (референциальные аспекты семантики местоимений) / *Е.В. Падучева.* – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.

5. *Хайдеггер, М.* Время и бытие. Статьи и выступления / *М. Хайдеггер* [пер. с нем.]. – М. : Республика, 1993. – 467 с.

6. *Апресян, Ю.Д.* Лексическая семантика / *Ю.Д. Апресян*. – М. : Наука, 1995. – 367 с.

7. *Кубрякова, Е.С.* Язык и знание: На пути получения знаний о языке: части речи с когнитивной точки зрения. Роль языка. в познании мира / *Е.С. Кубрякова*. – Москва : Яз. славян. культуры, 2004. – 555.

8. *Гегель, Г.В.Ф.* Лекции по эстетике. Кн. 1 / *Г.В.Ф. Гегель* : соч. в 12 т. – М. – Л. : ГИЗ, 1938. – 431 с.

9. *Хантакова, В.М.* Синонимы в научно-популярных медицинских текстах / *В.М. Хантакова* // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, 2006. - № 2 (48). – С. 209-212.

10. *Хантакова, В.М.* К проблеме упорядочения медицинских терминов (на материале английского языка) / *В.М.Хантакова* // Мир Науки, Культуры, Образования. – 2012. - № 6 (37).- С. 49-52.

Сведения об авторах

Хантакова Виктория Михайловна – доктор филол. наук, профессор кафедры иностранных языков ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского, e-mail: achinj@mail.ru.
Швецова Светлана Викторовна – канд. филол. наук, доцент кафедры иностранных языков ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского, e-mail: svetlana-sib@yandex.ru.

Information about the authors

Khantakova Victoria M. – doctor of science (philology), professor at the foreign languages departmen, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky, e-mail: achinj@ mail.ru.
Shvetsova Svetlana V. – candidate of sciences (philology), associate professor at the foreign languages department, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky, e-mail: svetlana-sib@yandex.ru.

УДК 372.8

РОЛЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В ПОДГОТОВКЕ ВОДИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ФОНЕ ОНЛАЙН ОБУЧЕНИЯ

О.Н. Хороших

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. На фоне широкого внедрения в процесс подготовки водителей транспортных средств онлайн обучений, цифровых технологий, интерактивных презентаций и видео значимость профессионального педагога на занятии очень важна. Личный контакт преподавателя с учеником даёт возможность понятно объяснять изучаемый материал, разбирать сложные ситуации, поддерживать внимание и интерес учеников, учитывая их индивидуальные потребности и особенности. Задача педагога – формирование у учеников не просто навыков управления автомобилем, а культуры безопасного, осознанного и прогнозируемого поведения на дороге.

Ключевые слова: педагог, водитель, правила дорожного движения, онлайн обучение, безопасность на дороге.

THE ROLE OF THE EDUCATOR IN DRIVER TRAINING IN THE CONTEXT OF ONLINE LEARNING

O.N. Khoroshikh

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. Despite the widespread adoption of online training, digital technologies, interactive presentations, and video materials in driver education, the role of the professional instructor remains crucial. Only direct interaction between instructor and student allows for clear explanations of the material, the analysis of complex situations, and the maintenance of student attention and interest-all while addressing individual needs and characteristics. The instructor's goal is to instill in students not merely vehicle-handling skills, but a culture of safe, conscious, and predictable behavior on the road.

Key words: educator, driver, traffic rules, online training, road safety.

Формат онлайн обучения водителей транспортных средств появился относительно недавно и касается он исключительно теоретической части обучения будущих водителей. Данная форма обучения имеет место быть, но полностью заменит квалифицированного и профессионального педагога, который сегодня в процессе обучения использует все современные методы изложения материала, с применением интерактивных программ, презентаций и видео, не сможет. К тому же, не каждому ученику удобен данный формат обучения. Современные дети легко взаимодействуют с техникой, а вот для старшего поколения это не всегда удобно и доступно и традиционные методы обучения для них в приоритете [1, 2, 3, 8, 9] Следует так же учесть, что не все учебные заведения, могут позволить себе приобрести компьютеры, интерактивные доски и проекторы. Не стоит исключать и доступ к быстрому интернету для использования цифровых ресурсов.

Онлайн обучения исключает персонализацию, индивидуальный подход к каждому ученику, для раскрытия его потенциала. Многие ученики, не зависимо от возраста, сталкиваются с трудностями в обучении, что может вызвать стресс, тревогу и неуверенность. Квалифицированному преподавателю теории важно уметь работать с разными людьми – по возрасту, характеру и опыту, поэтому коммуникабельность, доброжелательность и спокойствие – обязательные его качества [4].

Роль педагога в процессе подготовки водителей транспортных средств (офлайн обучение), несомненно, важна. В его задачи входит объяснить в понятной и доступной форме не только разделы правил дорожного движения с актуальными изменениями, но и правил безопасности на дороге; основы оказания первой помощи; психофизиологические аспекты вождения – реакция водителя, внимание, усталость и стресс; административные требования – ответственность водителя, правила поведения при ДТП; проводить тесты и проверять знания, корректируя обучение, при необходимости, используя современные образовательные инструменты и интерактивные методы [5, 6, 7, 10].

Только живое общение педагога и учеников формирует у последних ответственное отношение к участию в дорожном движении.

Анализируя онлайн обучение, были выявлены некоторые неудобства и риски его применения, главное из которых – отсутствие режима. Возможность слушать лекции в любое удобное время, может привести к её откладыванию, что может быстро превратиться в долгий список не пройдённых тем. Если нет дисциплины и опыта самообучения (ученик должен сам открыть урок, пройти тему, решить тесты, вернуться к ошибкам), даже мелкие трудности могут привести к переносу обучения «На завтра». Плохая связь, маленький экран и

неудобный личный кабинет лишь усложняют трудности онлайн учебы. Если важно сразу задать вопрос онлайн обучение требует готовности писать вопросы и ждать ответа в установленном порядке, что так же является неудобным.

Домашняя обстановка не располагает к дополнительной работе. Дом – синоним отдыха и комфорта. И если на закрепление материала дома сил ещё хватает, то на дополнительное самостоятельное обучение – точно не у всех.

На фоне имеющихся плюсов онлайн обучения, таких как: экономия денег за счёт трат на транспорт и гибкий график занятий минусы куда весомее: отвлекающие факторы дома; долгое время пребывание за компьютером; отсутствие живого контакта с педагогом; риск малоинформативности обучения; невозможность задавать вопросы при просмотре записи; самостоятельный темп обучения, требующий высокой самодисциплины; концентрация внимания. Статистически доказано, что подавляющее большинство учеников максимально выкладываются и мотивируются на очных курсах, и только малая доля ребят проходит онлайн-обучение до конца.

Очная форма обучения, атмосфера в классе запрограммированы на получение знаний, здесь срабатывает формула: «Пришёл учиться – учись». Живое обучение – это о восприятии информации благодаря контакту преподавателя и ученика. Видя преподавателя непосредственно перед собой и ощущая его живую энергетику и интерес в том, что он делает, ученик сам оказывается заинтересованным и максимально концентрированным на получении информации. Это повышает уровень вовлечённости учащихся в процесс и, как следствие, повышает уровень освоения материала.

И на фоне некоторых неудобств, таких как: невозможность перенести занятие, если не удалось на него попасть; привязанность к определённому времени и месту; временные и транспортные затраты, плюсы очного обучения много значимей: живое общение с преподавателем и другими учениками; потребность в группе (на занятиях часто разбирают ошибки, которые встречаются у разных учеников, такие обсуждения помогают быстрее заметить спорные места в правилах); быстрая обратная связь (преподаватель рядом, возможность задать вопрос и сразу получить ответ удобнее и доступней, учитывая тех, кому тяжело воспринимать материал с экрана); чёткие временные рамки (помогает держать дисциплину и темп: расписание составлено и утверждено); настраивающая на рабочий лад обстановка; преподаватели могут делиться значимым опытом из жизни, видеть ошибки и устранять их.

На основе аналитики крупных автошкол и общих данных МВД РФ, можно выделить следующие закономерности и показатели успеваемости обучения на водителей транспортных средств (таблица 1).

Таблица 1 – **Сравнение успеваемости и эффективности обучения**

Критерий	**Онлайн-обучение (теория дистанционно)**	**Офлайн-обучение (классическое, в классе)**
Успеваемость по теории	У мотивированных учеников – средняя (возможность неоднократно прослушать учебный материал в записи)	Стабильная средняя (возможность контакта с преподавателем и сразу получить ответ на заданный вопрос)

Процент отсева (до экзамена)	До 20 % (ученики без контроля часто забрасывают или затягивают прохождение обучения	До 5 % (чёткое расписание и контроль со стороны преподавателя дисциплинируют)

Не смотря на активное применение онлайн обучения в подготовке водителей транспортных средств, очное обучение с педагогом имеет неоспоримые преимущества, приведённые выше, основное из которых – это живое общение с преподавателем и возможность сразу задать вопрос по сложным дорожным ситуациям, разобрав их на наглядных примерах.

Список литературы

1. *Кагерманова, Я.С.* Роль инновационных технологий в развитии профессиональных качеств студента / *Я.С. Кагерманова, А.Р. Сухаева* // Прикладные вопросы математики в экономике, технике и сельском хозяйстве : Материалы студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию Иркутского ГАУ, Иркутск, 22 мая 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 33-35.

2. *Лончаков, И.А.* Интерактивные средства обучения для лекций / *И.А. Лончаков* // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, п. Молодежный, 07-08 ноября 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 310-312.

3. *Лончаков, И.А.* Цифровые и информационные технологии в образовании / *И.А. Лончаков, М.В. Чубарева* // Прикладные вопросы математики в экономике, технике и сельском хозяйстве : Материалы студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию Иркутского ГАУ, Иркутск, 22 мая 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 60-62.

4. *Пасынкова, А.Е.* Исследование психических состояний: утомления, пресыщения, стресса студентов в процессе учебной деятельности / *А.Е. Пасынкова, М.М. Рык, М.В. Чубарева* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 04-05 марта 2021 года. Том III. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 81-87.

5. *Петрова, П.Д.* Некоторые факторы, влияющие на безопасность дорожного движения */ П.Д. Петрова, О.Н. Хороших, С.Е. Васильева* // Безопасность в техносфере : Материалы очно-заочной студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 20 марта 2024 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 101-103.

6. *Самарина, В.Е.* Анализ методик диагностики учебной мотивации обучающихся / *В.Е. Самарина, М.В. Чубарева* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию Иркутскому ГАУ, Молодежный, 15-16 февраля 2024 года. – Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 1040-1044.

7. *Соколова, Д.В.* Влияние темперамента на учебную деятельность студента / *Д.В. Соколова, О.А. Бобовская, М.В. Чубарева* // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, п. Молодежный, 26-27 марта 2020 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2020. – С. 285-292.

8. *Сухаева, А.Р.* Использование современных технологий обучения как средство повышения мотивации обучающихся / *А.Р. Сухаева, С.Н. Шуханов* // Научные приоритеты

АПК в России и за рубежом : Сборник статей 72-й международной научно-практической конференции, Караваево, 22 апреля 2021 года. – Караваево : Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 268-272.

9. *Хороших, О.Н.* Современные методы преподавания дисциплины «Правила безопасности дорожного движения» в образовательных организациях / *О.Н. Хороших* // Актуальные вопросы образования: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию специальности «Профессиональное обучение», п. Молодежный, 05-06 октября 2023 года. – п. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 138-143.

10. *Чубарева, М.В.* Методика определения учебной мотивации студентов колледжа инженерных направлений подготовки / *М.В. Чубарева* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский ГАУ, 03-04 октября 2024 года. – Иркутский: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 413-419.

Сведения об авторе

Хороших Ольга Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89148857684; e-mail: larinahorohix@yandex.ru).

Information about the author

Khoroshikh Olga N – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Technical support for the Agro-Industrial Complex». Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: 89148857684; e-mail: larinahorohix@yandex.ru).

УДК 377.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИГРОВЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ НА УЧЕБНУЮ МОТИВАЦИЮ СТУДЕНТОВ

М.В. Чубарева, С.С. Соколова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В данной статье приведена методика и результаты влияние игровых методов обучения на учебную мотивацию студентов. Цель исследования: изучить влияние игровых методов обучения на учебную мотивацию студентов. Выборку исследования составили две группы студентов, первая группа после традиционного занятия и вторая после занятия, проведённого с игровыми методами обучения, в которых приняли участия 30 студентов 3-го курса. Исследование проводили с помощью опросника методики диагностики учебной мотивации студентов (А.А. Реан и В.А. Якунин, модификация Н.Ц. Бадмаевой). После традиционного занятия у студентов высокий уровень показал мотив избегания (20 %). После проведения деловой игры у студентов были выявлены высокие уровни профессиональных (18 %) и учебно-познавательных мотивов (17 %). Полученные результаты позволяют сделать обоснованные выводы о влиянии игровых методов на мотивацию обучающихся.

Ключевые слова: игровые методы обучения, учебная мотивация студентов, методики диагностики учебной мотивации.

A STUDY OF THE IMPACT OF GAME-BASED LEARNING METHODS ON STUDENTS' ACADEMIC MOTIVATION

M.V. Chubareva, S.S. Sokolova
FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. This article presents the methodology and results regarding the impact of game-based learning methods on students' academic motivation. The study aimed to examine how game-based learning methods influence students' academic motivation. The study sample consisted of two groups of third-year students (30 participants in total): the first group attended a traditional class, while the second participated in a class utilizing game-based learning methods. The study employed a questionnaire designed to assess students' academic motivation (based on the work of A.A. Rean and V.A. Yakunin, as modified by N.Ts. Badmaeva). Following the traditional class, the "avoidance" motive emerged as the dominant high-level factor (20 %). In contrast, the business game session revealed high levels of professional motives (18 %) and educational-cognitive motives (17 %). These results allow for well-founded conclusions regarding the impact of game-based methods on student motivation.

Key words: game-based learning methods, student learning motivation, methods for assessing learning motivation.

Мотивация учебной деятельности студентов является необходимым условием для эффективного осуществления учебного процесса, так как именно отрицательное или безразличное отношение к учению может быть причиной низкой успеваемости или неуспеваемости студента [1, 2, 5, 11].

Поэтому изучение мотивов учебной деятельности студентов является очень важным элементом деятельности педагога. От мотивов зависит отношение студента к учёбе, его успеваемость, его заинтересованность в результате, а в дальнейшем и его профессионализм.

Цель исследования: изучить влияние игровых методов обучения на учебную мотивацию студентов.

Задачи исследования:

1. Провести исследование учебной мотивации у студентов после традиционного занятия и после занятия, проведённого с игровыми методами обучения;

2. Произвести оценку мотивации студентов.

Для осуществления цели и задачи исследования была применина методика диагностики учебной мотивации студентов (А.А. Реан и В.А. Якунин, модификация Н.Ц. Бадмаевой) [6].

Исследовательская работа проходила в естественных условиях процесса обучения ГАПОУ ИО «Балаганский аграрно-технологический техникум». Выборку исследования составили две группы студентов, первая группа после традиционного занятия и вторая после занятия, проведённого с игровыми методами обучения, в которых приняли участия 30 студентов 3-го курса: 15

студентов группы № 196 по профессии «Повар, кондитер» и 15 студентов группы № 187 по профессии «Мастер сельскохозяйственного производства».

Исследование проходило в два этапа:

I этап – влияние игровых методов обучения на учебную мотивацию студентов, с помощью опросника методики диагностики учебной мотивации студентов (А.А. Реан и В.А. Якунин, модификация Н.Ц. Бадмаевой) [6];

II этап – выводы и рекомендации по материалам исследования.

Методика, используемая для исследования, состоит в следующем.

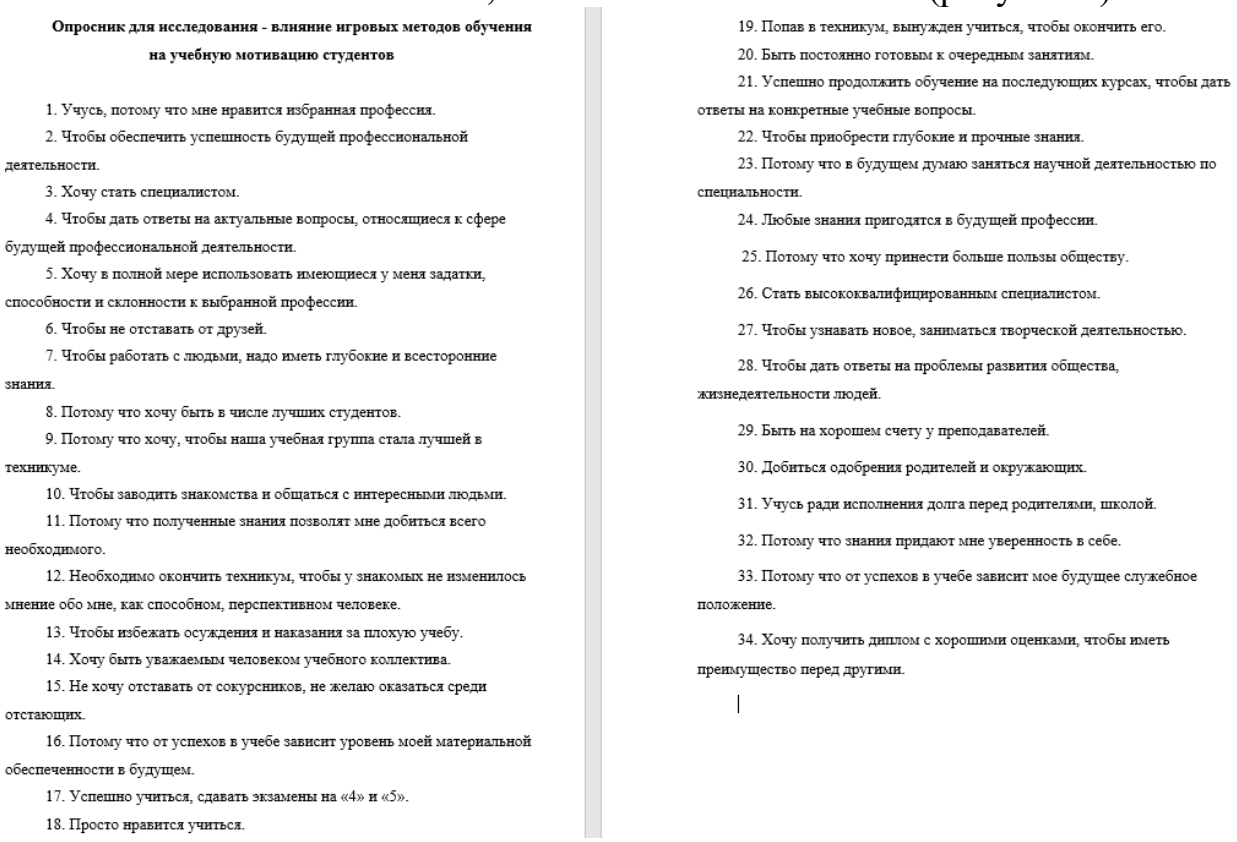
Шкалы: учебные мотивы – коммуникативные, избегания, престижа, профессиональные, творческой самореализации, учебно-познавательные, социальные мотивы.

Назначение теста: Диагностика учебной мотивации студентов.

Описание теста:

Методика разработана на основе опросника А.А. Реана и В.А. Якунина [6]. К 16 утверждениям вышеназванного опросника добавлены утверждения, характеризующие мотивы учения, выделенные В.Г. Леонтьевым, а также утверждения, характеризующие мотивы учения, полученные Н.Ц. Бадмаевой в результате опроса студентов и школьников. Это коммуникативные, профессиональные, учебно-познавательные, широкие социальные мотивы, а также мотивы творческой самореализации, избегания неудачи и престижа.

На первом этапе исследования студентам было предложено рассмотреть опросник из 34 мотивов и оценить по 5-балльной системе приведённые мотивы учебной деятельности по значимости для них. 1 балл соответствует минимальной значимости мотива, 5 баллов – максимальной. (рисунок 1).



Опросник для исследования - влияние игровых методов обучения на учебную мотивацию студентов

1. Учусь, потому что мне нравится избранная профессия.
2. Чтобы обеспечить успешность будущей профессиональной деятельности.
3. Хочу стать специалистом.
4. Чтобы дать ответы на актуальные вопросы, относящиеся к сфере будущей профессиональной деятельности.
5. Хочу в полной мере использовать имеющиеся у меня задатки, способности и склонности к выбранной профессии.
6. Чтобы не отставать от друзей.
7. Чтобы работать с людьми, надо иметь глубокие и всесторонние знания.
8. Потому что хочу быть в числе лучших студентов.
9. Потому что хочу, чтобы наша учебная группа стала лучшей в техникуме.
10. Чтобы заводить знакомства и общаться с интересными людьми.
11. Потому что полученные знания позволят мне добиться всего необходимого.
12. Необходимо окончить техникум, чтобы у знакомых не изменилось мнение обо мне, как способном, перспективном человеке.
13. Чтобы избежать осуждения и наказания за плохую учебу.
14. Хочу быть уважаемым человеком учебного коллектива.
15. Не хочу отставать от сокурсников, не желаю оказаться среди отстающих.
16. Потому что от успехов в учебе зависит уровень моей материальной обеспеченности в будущем.
17. Успешно учиться, сдавать экзамены на «4» и «5».
18. Просто нравится учиться.
19. Попав в техникум, вынужден учиться, чтобы окончить его.
20. Быть постоянно готовым к очередным занятиям.
21. Успешно продолжить обучение на последующих курсах, чтобы дать ответы на конкретные учебные вопросы.
22. Чтобы приобрести глубокие и прочные знания.
23. Потому что в будущем думаю заняться научной деятельностью по специальности.
24. Любые знания пригодятся в будущей профессии.
25. Потому что хочу принести больше пользы обществу.
26. Стать высококвалифицированным специалистом.
27. Чтобы узнавать новое, заниматься творческой деятельностью.
28. Чтобы дать ответы на проблемы развития общества, жизнедеятельности людей.
29. Быть на хорошем счету у преподавателей.
30. Добиться одобрения родителей и окружающих.
31. Учусь ради исполнения долга перед родителями, школой.
32. Потому что знания придают мне уверенность в себе.
33. Потому что от успехов в учебе зависит мое будущее служебное положение.
34. Хочу получить диплом с хорошими оценками, чтобы иметь преимущество перед другими.

Рисунок 1 – **Пример опросника для исследования учебной мотивации студентов**

Далее выполнена обработка и интерпретация результатов исследования. В данной методике имеются 7 шкал оценивания. По каждой шкале были вычислены средние значения и получены результаты, представленные в диаграммах (рисунки 2, 3).

Обработка и интерпретация результатов теста.

- Шкала 1. Коммуникативные мотивы: 7, 10, 14, 32.
- Шкала 2. Мотивы избегания: 6, 12, 13, 15, 19.
- Шкала 3. Мотивы престижа: 8, 9, 29, 30, 34.
- Шкала 4. Профессиональные мотивы: 1, 2, 3, 4, 5, 26.
- Шкала 5. Мотивы творческой самореализации: 27, 28.
- Шкала 6. Учебно-познавательные мотивы: 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24.
- Шкала 7. Социальные мотивы: 11, 16, 25, 31, 33.

Результаты методики: оценивается средний бал по каждой шкале.

Анализ полученных результатов позволил выделить следующее.

После традиционного занятия у студентов высокий уровень показал мотив избегания (20 %) находится на первом месте и оценён высоким баллом (5 баллов). Средний уровень – мотивы творческой самореализации (13 %), коммуникативные мотивы (15 %), социальные мотивы (14 %) профессиональные мотивы (14 %) и учебно-познавательные мотивы (13 %) находятся на втором месте и оценены средними баллами (2-4 балла). И самый низкий уровень – мотив престижа (11 %) находится на последнем месте и оценён маленьким баллом (2-3 балла). Это видно по круговой диаграмме (рисунок 2).

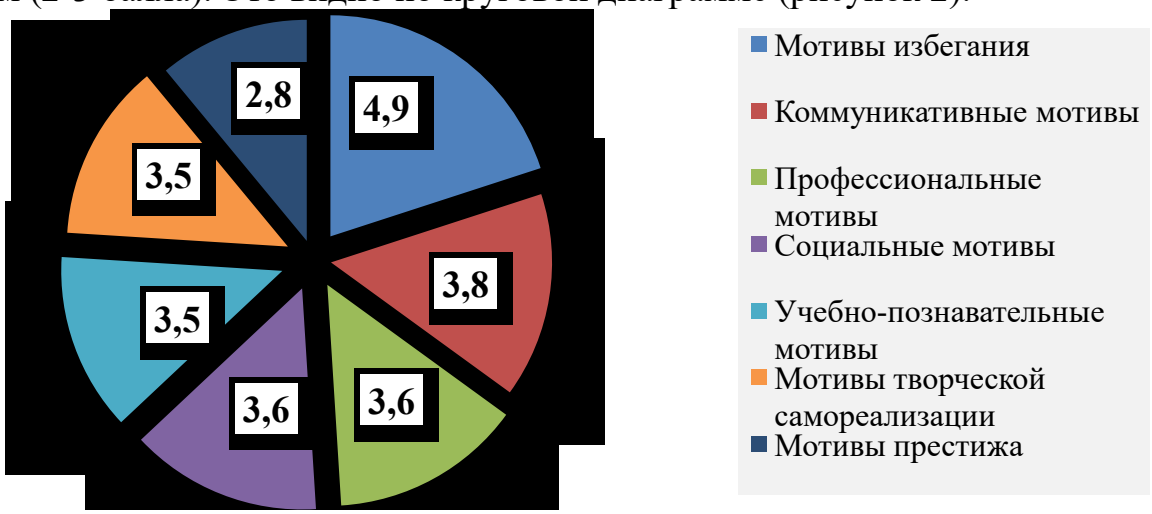


Рисунок 2 – **Результаты исследования учебной мотивации студентов после традиционного занятия**

После проведения деловой игры [3, 4, 7, 8, 9] у студентов были выявлены высокие уровни профессиональных (18 %) и учебно-познавательных мотивов (17 %), которые находятся на первом месте и оценены высокими баллами 4-5. Когда на первом рисунке они были на втором месте и оценены средними баллами. Средний уровень – это мотивы творческой самореализации (15 %), социальные мотивы (15 %), коммуникативные мотивы (16 %) находятся на втором месте и оценены баллами 3-4. И самый низкий уровень – мотив избегания (7 %) и мотив престижа (12 %) находятся на последнем месте и

оценены баллами 2-3. Когда на первом рисунке мотив избегания был на высоком уровне и оценён высоким баллом. Это говорит о том, что основные мотивы обучения у опрошенных студентов направлены на процесс и результаты образования. Можно сделать вывод, что опрошенные студенты имеют достаточно высокий уровень учебной мотивации. Это видно по круговой диаграмме (рисунок 3).

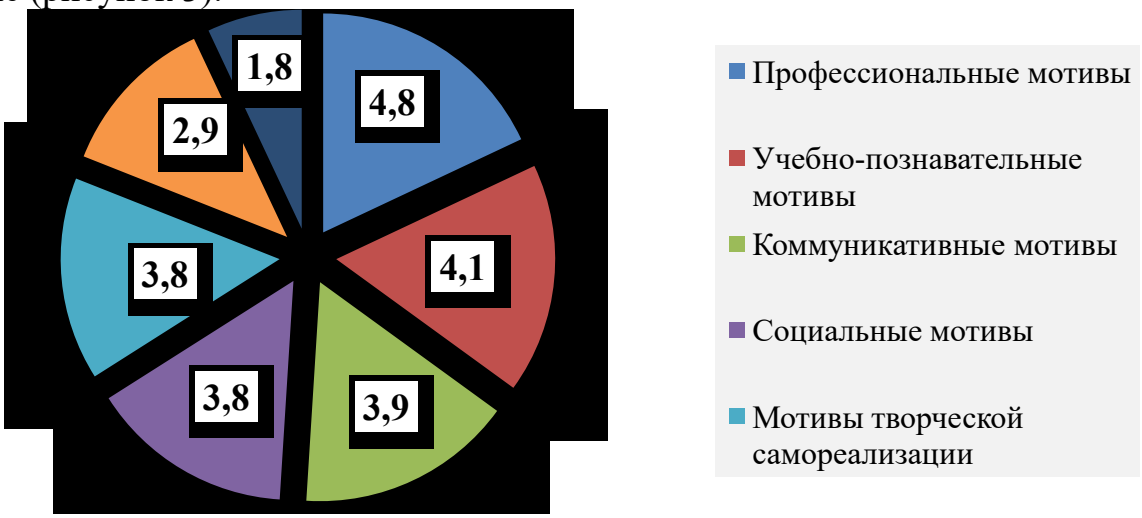


Рисунок 3 – **Результаты исследования учебной мотивации студентов после деловой игры**

В ходе проведённого исследования была полностью раскрыта поставленная задача по обследованию учебной мотивации студентов. Достигнуты следующие результаты:

1. Методология исследования была реализована в полном объёме:
• Проведён сравнительный анализ двух форматов обучения;
• Использован стандартизированный опросник для оценки мотивации;
• Обеспечена репрезентативность выборки студентов.
2. Получены количественные данные по двум группам занятий:
• Зафиксированы показатели мотивации после традиционного занятия;
• Собраны данные после занятия с игровыми методами;
• Проведено сопоставление результатов обеих групп с помощью круговой диаграммы.
3. Проанализированы качественные характеристики учебной мотивации:
• Выявлены различия в уровне заинтересованности студентов;
• Определены особенности восприятия материала;
• Установлена динамика мотивации в зависимости от формата занятия.
4. Достигнуты цели исследования:
• Создана база данных для сравнения эффективности методов;
• Выявлены преимущества игровых технологий.

Таким образом, задача исследования выполнена комплексно, с охватом всех необходимых аспектов измерения и анализа учебной мотивации студентов при различных форматах проведения занятий. Полученные результаты

позволяют сделать обоснованные выводы о влиянии игровых методов на мотивацию обучающихся.

Список литературы

1. *Алтухова, Т.А.* Формы и методы обучения, используемые при формировании профессиональных компетенций студентов / *Т.А. Алтухова, С.В. Алтухов* // В сборнике: Потенциал образования для самореализации и развития талантов у молодежи. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной Году педагога и наставника. – Иркутск, 2023. – С. 4-8.

2. *Алтухова, Т.А.* Учебная деловая игра как способ проведения педагогического эксперимента / *Т.А. Алтухова, С.В. Алтухов* // Приднепровский научный вестник. – 2023. – Т. 5. – № 3. – С. 7-10.

3. *Доронина, А.А.* Деловая игра / *А.А. Доронина* // Научные труды Московского гуманитарного университета. – 2018. – № 5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/delovaya-igra.

4. *Золотых, Н.В.* Деловая игра как одна из форм организации учебного процесса, ее структура и функции / *Н.В. Золотых* // Ученые записки университета Лесгафта. – 2016. – № 2 (132). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/delovaya-igra-kak-odna-iz-form-organizatsii-uchebnogo-protsessa-ee-struktura-i-funktsii.

5. *Корниенко, А.К.* Анализ игровых форм контроля знаний студентов / *А.К. Корниенко, М.В. Чубарева* // В сборнике: Научные исследования студентов в решении актуальный проблем АПК. Материалы всероссийской научно-практической конференции. – п. Молодежный, 2022. – С. 39-44.

6. Методика для диагностики учебной мотивации студентов (А.А. Реан и В.А. Якунин, модификация Н.Ц. Бадмаевой) / *Н.Ц. Бадмаева* // Влияние мотивационного фактора на развитие умственных способностей : Монография. – Улан-Удэ, 2004. – С.151-154.

7. *Сухаева, А.Р.* Использование тестирования при подготовке специалистов среднего звена / *А.Р. Сухаева* // сборнике: Потенциал образования для самореализации и развития талантов у молодежи. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной Году педагога и наставника. – Иркутск, 2023. – С. 240-243.

8. *Сухаева, А.Р.* Рациональное использование нетрадиционных форм обучения в учебном процессе / *А.Р. Сухаева, Т.А. Алтухова* // В сборнике: Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК. Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича. Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный, 2022. – С. 367-372.

9. *Сухаева, А.Р.* Технологии активного обучения в образовательном процессе студентов специальности профессиональное обучение / *А.Р. Сухаева, С.А. Боннет* // В сборнике: Инновационные технологии в профессиональном образовании. Статьи докладов международной научно-практической конференции. – 2010. – С. 198-201.

10. *Сухаева, А.Р.* Эффективность повышения качества профессиональной подготовки специалиста / *А.Р. Сухаева* // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2012. – № 3. – С. 29-31.

11. *Чубарева М.В.* Методика проведения контроля знаний в игровой форме на примере сценки по дисциплине «Психология» / *М.В. Чубарева, А.К. Корниенко* // В сборнике: Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов. Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции. – Москва, 2022. – С. 125-130.

Сведения об авторах

Чубарева Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасность жизнедеятельности и профессиональное обучение», инженерный факультет, Иркутского государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел.: 89086567154, e-mail: chubarevamarina@rambler.ru).

Соколова Светлана Сергеевна – студентка 5 курса напр. подгот. 44.03.04 – «Профессиональное обучение», инженерный факультет, Иркутского государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. (664038, Россия, Иркуткая область, Иркутский район, п. Молодежный).

Information about the authors

Chubareva Marina V. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of operation of machinery and tractor fleets, occupational safety, and professional training, faculty of engineering, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsky district, Molodezhny settlement; tel.: 89086567154; e-mail: chubarevamarina@rambler.ru).

Sokolova Svetlana S. – 5th-year student, field of study 44.03.04 «Professional training», faculty of engineering, A.A. Yezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsky district, Irkutsk region, Russia, 664038).

УДК 811.111

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

С.В. Швецова, В.М. Хантакова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имеии А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Английский язык является основным языком, используемым в международных научных исследованиях, публикациях, конференциях и в профессиональной коммуникации. Поэтому дисциплина «Английский язык для специальных целей» (*English for Specific Purposes, ESP*) играет важную роль в современном инженерном образовании, так как он фокусируется на языковых навыках, необходимых для профессиональной деятельности. Внедрение программ *ESP* в инженерное образование будет способствовать подготовке компетентных специалистов и будущих учёных, способных эффективно участвовать в глобальном научно-техническом сообществе.

Ключевые слова: Английский язык для специальных целей, инженерное образование, профессиональная коммуникация, языковые навыки.

ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES IN THE EDUCATION OF ENGINEERING STUDENTS

S.V. Shvetsova, V.M. Khantakova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. English is the primary language used in international scientific research, publications, conferences, and professional communication. Therefore, the discipline “English for Specific Purposes” (ESP) plays an important role in modern engineering education, as it focuses on the language skills required for professional activities. Implementing ESP programs in engineering education will contribute to the training of competent specialists and future scientists capable of effectively participating in the global scientific and technical community.

Key words: English for specific purposes, engineering education, professional communication, language skills.

Современное человечество сегодня живёт в эпоху глобализация науки, что значительно повышает потребность в эффективной коммуникации между учёными, научно-техническими работниками, преподавателями и студентами инженерных факультетов вузов. Английский язык является ведущим языком, как для общения, так и для распространения знаний, потребность в изучении английского языка для специальных целей (*English for Specific Purposes, ESP*) актуально, чем когда-либо прежде [4, 5]. В результате английский язык для специальных целей превратился в одно из самых важных направлений изучения английского языка. Поэтому от студентов требуется развитие высокого уровня владения английским языком для доступа к научным знаниям и взаимодействия с коллегами в глобальном инженерном сообществе. Эти коммуникативные задачи требуют владения специализированной лексикой. Для удовлетворения этих потребностей в инженерном образовании используется дисциплина «Английский язык для специальных целей» (*ESP*). *ESP* фокусируется на обучении будущих инженеров языковым навыкам, которые напрямую связаны с академическим и профессиональным контекстом обучающихся. В данной статье рассматривается роль *ESP* в обучении английскому языку, анализируются его ключевые принципы и методы преподавания, а также обсуждается его влияние на развитие навыков профессиональной коммуникации среди студентов.

ESP – это раздел прикладной лингвистики, который фокусируется на обучении английскому языку с учётом специфических потребностей учащихся в конкретных профессиональных или академических областях [1]. Программы *ESP* основаны на специфических языковых требованиях обучающихся. Для студентов инженерных специальностей это включает понимание технической терминологии, чтение научных статей и общение в профессиональных кругах. Программы *ESP* также делают акцент на аутентичных материалах, которые включают специальные тексты, такие как научные статьи, описания изобретений к патентам, инструкциям по эксплуатации специального оборудования и т.д.

Обучение английскому языку для специальных целей фокусируется на контекстуализированном изучении языка. Языковые навыки преподаются в реалистичных профессиональных ситуациях. Такой подход помогает студентам понять, как язык используется в реальных контекстах. Также программы *ESP* способствуют развитию практических коммуникативных навыков, которые понадобятся студентам в их будущей профессиональной карьере.



Рисунок 1 – **Студенты на занятиях по английскому языку**

ESP требует использования методов обучения, имитирующих реальные профессиональные ситуации. Традиционные лекционные методы обучения часто оказываются недостаточными, поскольку предоставляют ограниченные возможности для практической отработки коммуникативных навыков. Одним из таких эффективных методов является обучение на основе задач, когда студенты выполняют задания, имитирующие реальную практическую деятельность [2, 3]. Другим важным методом является ролевая игра. В ходе ролевых игр студенты строят диалоги между специалистами разных стран. Эти действия помогают учащимся тренировать как инженерно-техническую терминологию, так и навыки межличностного общения.

Также в программах *ESP* широко используется проблемно-ориентированное обучение [6]. Студентам предлагаются технические проблемы или сценарии, а они должны совместно анализировать ситуацию и предлагать решения.

Кроме того, групповые дискуссии и презентации позволяют студентам развивать навыки академической устной речи. Студенты могут представлять темы исследований или объяснять методы эксплуатации и ремонта оборудования. Использование мультимедийных ресурсов также может способствовать повышению качества обучения.

Интеграция *ESP* в инженерное образование предлагает ряд важных преимуществ. Во-первых, программы *ESP* обеспечивают актуальное и практическое обучение языку, которое напрямую способствует профессиональному развитию студентов. Сосредоточившись на профессиональной коммуникации, *ESP* помогает студентам приобрести языковые навыки, которые они будут использовать в своей будущей карьере. Во-вторых, обучение на основе *ESP* повышает мотивацию студентов. Когда студенты видят прямую связь

изучения языка с их профессиональными целями, они с большей вероятностью будут активно участвовать в процессе обучения. В-третьих, программы *ES*P помогают развивать критическое мышление и аналитические навыки. Такие виды деятельности, как разбор инженерных задач или способов решения технических проблем, требуют от студентов применения не только профессиональных знаний, но и языковых навыков. В-четвёртых, курсы *ESP* поддерживают междисциплинарное обучение. Наконец, *ESP* готовит студентов к международным профессиональным возможностям. Многие выпускники инженерных вузов стремятся к международному сотрудничеству в области исследований, программам обучения или трудоустройству, где знания английского языка необходимы.

Английский язык для специальных целей играет важную роль в современном инженерном образовании, так как он фокусируется на языковых навыках, необходимых для профессиональной деятельности. Благодаря интеграции аутентичных материалов, интерактивных методов обучения и заданий, программы *ESP* помогают студентам развивать практические коммуникативные навыки. Внедрение программ *ESP* в инженерное образование будет способствовать подготовке компетентных специалистов и будущих учёных, способных эффективно участвовать в глобальном научно-техническом сообществе.

Список литературы

1. *Арнольд, И.В.* Семантика Стилистика Интертекстуальность / *И.В. Арнольд* : Сборник статей / Научн. ред. П.Е. Бухаркин. – СПб. : СПбГУ, 1999. – 444 с.

2. *Лотте, Д.С.* Основы построения научнотехнической терминологии. Вопросы теории и методики / *Д.С. Лотте.* – М. : Изд-во АН СССР, 1961. –160 с.

3. *Хантакова, В.М.* Роль взаимного отражения противоположностей в организации информации в тексте / *В.М Хантакова., С.В. Швецова, Ц.Д. Бидагаева* // Международный журнал «Мир Науки, Культуры, Образования». 2020. № 4 (83) С. 492- 495.

4. *Bugaeva, P.S.* Teaching English for specifi c Purposes (ESP) / *P.S Bugaeva* // International scientific review. 2014 No. 2 (30). P. 90-91.

5. *Hutchinson, T.* English for specific purposes / *T. Hutchinson, A. Waters* // A learning centered approach/ Cambridge University press, 1987.

6. *Krashen, S.* Principles and Practice in Second Language Acquisition/ *S. Krashen* // Oxford, Pergamon Press, 1982, pp. 100-118.

Сведения об авторах

Швецова Светлана Викторовна – кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: svetlana-sib@yandex.ru.

Хантакова Виктория Михайловна – доктор филологических наук, профессор кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: achinj@mail.ru.

Information about the authors

Shvetsova Svetlana V. – candidate of philological sciences, associate professor of the department of foreign languages of Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky. (pos. Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038), e-mail: svetlana-sib@yandex.ru.

Khantakova Victoria M. – doctor of philological sciences, professor of the department of foreign languages of Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky. (pos. Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038), e-mail: achinj@mail.ru.

УДК 631.3(092)

ОТ СТУДЕНТА ДО ПРОФЕССОРА: ЭТАПЫ БОЛЬШОГО ПУТИ (к 80-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Болоева Петра Антоновича)

Т.В. Бодякина, М.К. Бураев

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В статье изложен трудовой и научный путь доктора технических наук, профессора Болоева Петра Антоновича. Студенческие годы и трудовая деятельность Петра Антоновича были тесно связаны с Иркутским государственным сельскохозяйственным институтом, а именно с факультетом механизации. Представлены периоды становления видного учёного в научной сфере, начиная с аспиранта и до становления доктором технических наук. Также описаны его достижения в сфере образования и трудовой деятельности от ассистента до профессора.

Ключевые слова: сельскохозяйственный институт, факультет механизации, Болоев Петр Антонович, профессор, тракторы и автомобили, дизель.

FROM STUDENT TO PROFESSOR: STAGES OF A LONG JOURNEY (Marking the 80th anniversary of the birth of doctor of technical sciences, professor Petr Antonovich Boloev)

T.V. Bodyakina, M.K. Buraev

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. This article outlines the professional and scientific career of Petr Antonovich Boloev, doctor of technical sciences and professor. Petr Antonovich's student years and professional life were closely linked to the Irkutsk state agricultural institute, specifically its faculty of mechanization. The article traces his development as a distinguished scientist, from his time as a postgraduate student to his attainment of the doctor of technical sciences degree. It also describes his achievements in education and his career progression from assistant to professor.

Key words: agricultural institute, faculty of mechanization, Petr Antonovich Boloev, professor, tractors and automobiles, diesel engine.

20 сентября 1946 году родился известный учёный в области агроинженерии Болоев Петр Антонович и член контактной группы Монголо-Российского содружества агроинженеров. Петр Антонович деятель науки, профессор, доктор технических наук, Заслуженный инженер республики Бурятии и Почётный работник высшего профессионального образования России. Путь будущего учёного начался в деревне Борохал Иркутской области. Родился Петр Антонович в многодетной семье из десяти детей в семье фронтовика. Несмотря на тяжёлое послевоенное время и ранение, первую группу инвалидности, полученную на Великой Отечественной войне, отец семейства смог стать примером мужества и упорства для своих детей. Благодаря родителям

каждый ребенок этой семьи нашёл свое место в жизни. Петр Антонович получил базовое образование в 1963 году в Бильчирской средней школе Боханского района – настоящей кузнице кадров, подарившей стране будущих руководителей регионов, крупнейших учёных и признанных общественных и культурных деятелей. Школа стала отправным пунктом научной и педагогической деятельности Болоева П.А. [1].



Рисунок 1 – **Доктор технических наук, профессор Пётр Антонович Болоев**

После окончания школы Петр Антонович в 1963 году поступил в Иркутский сельскохозяйственный институт (ИСХИ) на факультет механизации сельского хозяйства. За время обучения в институте Петр Антонович помимо основной специальности освоил рабочие профессии. По окончании 1 курса получил профессию слесаря-инструментальщика (тисочника), сварщика; после 2 курса – токаря 2 разряда; после 3 курса – тракториста-машиниста 3 класса; после 4 курса – шофера профессионала 3 класса. За время обучения в институте Петр Антонович участвовал в различных сферах деятельности института. В одной группе с Петром Антоновичем учились Виктор Константинович Евтеев (1944 г.р.) и Анатолий Михайлович Худоногов (1939 г.р.), впоследствии ставшие, соответственно, кандидатом технических наук и доктором технических наук, которые так же, как и он, много лет отдали работе на благо и развитие любимого института. В период обучения принимал активное участие в строительстве корпуса института. В 1968 году успешно окончил институт и получил диплом инженера механика. По рапределению был направлен на работу в Боханское районное отделение «Сельхозтехника» Иркутской области на должность инженера ремонтной мастерской. Проработав на предприятии два года, в 1970 году был призван на военную службу в ракетные войска стратегического назначения [3].

Научно-педагогическая деятельность Петра Антоновича началась после службы в армии с января 1971 года в Бурятском сельскохозяйственном институте (ныне БурГСХА им. В.Р. Филиппова) на кафедре «Тракторы и автомобили» в должности ассистента кафедры.

В 1979 году поступил в аспирантуру Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства (ЧИМЭСХ) в городе Челябинске на кафедру «Тракторы и автомобили». Успешно освоил программу аспирантуры, подготовил и в 1984 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Повышение эффективности использования трактора в составе сельскохозяйственного МТА, путём стабилизации цикловой подачи топлива». Большой вклад в становление учёного внёс его научный руководитель доктор технических наук, профессор Попов Виктор Николаевич.

Став кандидатом технических наук, Петр Антонович работал в городе Улан-Удэ в Бурятском сельскохозяйственном институте (БСХИ) доцентом, а позднее был избран на должность заведующего кафедрой «Тракторы и автомобили». Петр Антонович активно участвовал в различных конференциях, форумах, семинарах в разных городах нашей страны, способствовал развитию научно-педагогического потенциала сотрудников кафедры, направляя их в передовые вузы страны на повышение квалификации. В БСХИ он проработал до августа 1994 года. В августе 1994 года перешёл работать в Бурятский государственный педагогический институт (БГПИ) на должность профессора, заведующего кафедрой «Машиноведение».

Продолжая свою научно-исследовательскую деятельность, Петр Антонович написал тезисы новой научной работы, с которой ознакомил своего учителя по ИСХИ доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича. Иван Петрович положительно оценил начало большой работы, её предварительную апробацию на сельхозпредприятиях региона и направил соискателя в Санкт-Петербургский ГАУ к своему коллеге, работавшему в то время заведующим кафедрой «Тракторы», Заслуженному деятелю науки и техники Российской Федерации, академику, доктору технических наук, профессору Николаенко А.В. Так профессор Николаенко А.В. стал научным консультантом по докторской диссертации Петра Антоновича. Целеустремлённость и настойчивость к совершенствованию научных знаний позволили Петру Антоновичу написать и успешно защитить в 1997 году в диссертационном совете Санкт-Петербургского ГАУ диссертацию на соискание учёной степени доктора технических наук по теме: «Улучшение эксплуатационных показателей МТА путём оптимизации управления рабочими процессами дизеля» [2, 4].

Решением ВАК РФ от 12 декабря 1998 года ему присуждена учёная степень доктора технических наук, а в ноябре следующего года ВАК РФ присвоил ему учёное звание профессора.

В 2006 году Петра Антоновича пригласили в Иркутский государственный сельскохозяйственный институт на кафедру «Тракторы и автомобили». С декабря 2006 года по 9 марта 2017 года профессор Петр Антонович работал в качестве заведующего кафедрой «Тракторы и автомобили». С 10 марта 2017 по настоящее время работает профессором в Бурятском государственном университете (БГУ, г. Улан-Удэ).

Болоев П.А. воспитал плеяду учеников, ставших руководителями предприятий и специалистами в области агропромышленного производства. Под

его руководством выполнены исследования по ресурсосберегающим технологиям эксплуатации и диагностике транспортно-технологических машин, оптимизации рабочих процессов дизелей при работе на альтернативных видах топлива в условиях Сибири.

Петр Антонович являлся членом диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций по агроинженерным специальностям на базе ВСГУТУ (г. Улан-Удэ). В период работы совета он многократно являлся экспертом диссертаций, оппонентом. В состав совета совместно с Петром Антоновичем входили его коллеги из Иркутского ГАУ Овчинникова Наталья Ивановна, Кузьмин Ананий Ефимович, Кузьмин Александр Викторович, Бураев Михаил Кондратьевич (рисунок 2-3).



Рисунок 2 – **Совет по защите диссертаций**



Рисунок 3 – **Работа диссертационного совета**

Петр Антонович неоднократно являлся председателем государственной аттестационной комиссии в Иркутском ГАУ и ряде других вузов по защите выпускных квалификационных работ специалистов, бакалавров, магистров и аспирантов. Активное участие в работе ГЭК совместно с производственниками и научно-педагогическими работниками вузов Петр Антонович

совмещает с (рисунок 4-5) выработкой рекомендаций по усовершенствованию исследований в выпускных квалификационных работах и советами по улучшению работы ГЭК.



Рисунок 4 – **Защита ВКР**



Рисунок 5 – **Выступление председателя ГЭК по защите ВКР**

Петр Антонович постоянно участвует в работе международных, всероссийских и национальных конференций. Он периодически выступает с докладами и активно участвует в обсуждениях научных докладов, эссе и сообщений (рисунок 6).



Фото 6 – **Выступление с докладом на конференции**

Петр Антонович является автором и соавтором более 200 научных, учебно-методических трудов, среди которых 7 монографий. Он является руководителем выпускных квалификационных работ, магистерских диссертаций, аспирантских научных трудов, подготовил 2 кандидатов наук, 20 магистров, оказывал консультирование при подготовке докторских и кандидатских диссертаций. Соответственно авторы защищённых диссертаций считают Петра Антоновича своим учителем. Он всегда и всем готов прийти на помощь, дать совет, консультацию.

Петр Антонович хронический оптимист, активный, честный, позитивный, эрудированный и доброжелательный человек. Вместе с супругой он воспитал и вырастил двоих детей. Желаем юбиляру неиссякаемой энергии, здоровья, бодрости и долгих лет жизни.

Список литературы

1. *Бодякина, Т.В.* К 75 - летию Петра Антоновича Болоева / *Т.В. Бодякина, М.К. Бураев* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 23-24 сентября 2021 года. – Молодёжный : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 177-180. – EDN YYSSXO.

2. Образование и наука : Материалы национальной конференции, Улан-Удэ, 15-23 апреля 2019 года. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2019. – 938 с. – EDN DURCSO.

3. https://irsau.ru/structure/science/lab/res.php.

4. http://bsu.ru/pps/?pid=699.

Сведения об авторах

Бодякина Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования ИЭУИПИ, Иркутский государственный

аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный, тел.: 89148781789, e-mail: Bodt1981@yandex.ru).
Бураев Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел.: 89500904493, e-mail: buraev@mail.ru).

Information about authors
Bodyakina Tatiana V. – candidate of technical sciences, associate professor at the department of informatics and mathematical modeling, institute of economics, management, and applied informatics, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038; tel.: 89148781789; e-mail: Bodt1981@yandex.ru).
Buraev Michail K. – doctor of technical sciences, professor at the department of technical service and general engineering disciplines, faculty of engineering, A.A. Ezhevsky Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russia; tel.: 89500904493; e-mail: buraev@mail.ru).

УДК 316.472

ПУТЬ К ВЕРШИНАМ НАУКИ: ИСТОРИЯ УСПЕХА (к юбилею Заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, доктора ветеринарных наук, профессора Ильиной Ольги Петровны)

С.А. Сайванова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Статья посвящена учебной, научной, методической и общественной работе заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, доктора ветеринарных наук, профессора Ильной Ольги Петровны. Трудовая и научная деятельность берёт начало с 1978 г.: ветеринарный врач на Улан-Удэнской птицефабрике, аспирантура в Казанском ветеринарном институте. С 1985 г и по настоящее время – Иркутский государственный аграрный университет. На сегодняшний день стаж научной и педагогической работы юбиляра составляет более 35 лет. Ольга Петровна постоянно работает над повышением своего педагогического мастерства, активно ведёт научно-исследовательскую работу: результаты исследований представлены во множестве тезисов, статей, монографий. Под её руководством защищены 7 кандидатских и 1 докторская диссертаций, создана научная школа. В должности декана факультета открыто направления 36.05.01 Ветеринария, 35.03.07 ТППСХП, 36.03.01 ВСЭ, преобразована учебная научно-исследовательская лаборатория «Диагностика и патоморфология животных», где проводят исследования студенты, аспиранты и сотрудники университета, а также экспертизы различного характера по заявкам следственных органов.

***Ключевые слова*:** Иркутский государственный аграрный университет, факультет биотехнологии и ветеринарной медицины, декан, доктор ветеринарных наук, профессор, О.П. Ильина, эндемический зоб, патология обмена веществ, байкальская нерпа, морфогенез.

THE PATH TO THE PINNACLE OF SCIENCE: A SUCCESS STORY (Marking the anniversary of Olga Petrovna Ilyina, honored worker of higher education of the Russian Federation, doctor of veterinary sciences, and professor)

S.A. Saivanova

FSBEI HE Irkutsk SAU named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. The article is devoted to the educational, scientific, methodological, and public activities of Olga Petrovna Ilna, doctor of veterinary sciences, professor. Her professional and scientific career began in 1978: she worked as a veterinarian at the Ulan-Ude poultry farm and completed her postgraduate studies at the Kazan veterinary institute. From 1985 to the present day, she has been working at Irkutsk state agrarian university. To date, the length of her scientific and pedagogical work amounts to more than 35 years. Olga Petrovna is constantly working to improve her pedagogical skills and is actively engaged in research work: the results of her research are presented in numerous theses, articles, and monographs. Under her supervision, 7 candidate's dissertations and 1 doctoral dissertation have been defended, and a scientific school has been established. As dean of the faculty, I have opened the following programs: 36.05.01 Veterinary Medicine, 35.03.07 Technology and production of agricultural products, and 36.03.01 Veterinary and sanitary expertise. The educational and research laboratory "Diagnostics and pathomorphology of animals" has been transformed; students, postgraduates, and university staff conduct research there, and the laboratory also carries out various types of expert examinations at the request of investigative authorities.

Key words: Irkutsk state agrarian university, faculty of biotechnology and veterinary medicine, dean, doctor of veterinary sciences, professor, O.P. Ilyina, endemic goiter, metabolic pathology, baikal seal, morphogenesis.

Как правило, к юбилейной дате подводятся итоги многолетней и кропотливой работы любого человека. Быть педагогом – это значит быть терпеливым, вдумчивым человеком, обладающим невероятным запасом знаний, эрудиции, терпения, умением анализировать и сопоставлять. Быть учёным – это человек, который не принадлежит себе, ведь наука требует колоссальных затрат времени и сил! И это всё о ней…

Ильина Ольга Петровна родилась 20 мая 1956 года в селе Угдан Читинского района Читинской области десятым ребенком в семье служащих. Отец, Петр Иннокентьевич, работал учителем истории в школе, мама, Софья Николаевна, работала воспитателем детского сада. Ольга Петровна росла в большой многодетной и дружной семье. На братьях лежал тяжёлый быт сельского труда, на сёстрах все дела по дому. Её воспитанием занимались старшие братья и сёстры под контролем родителей. В 1963 году Ольга Петровна пошла в первый класс Угданской средней школы.

В 1973 окончила среднюю школу № 17 г. Читы и в этом же году поступила на ветеринарный факультет Бурятского сельскохозяйственного института. Будущий доктор наук не сомневалась в выборе своей профессии, её с детства интересовали животные, как они устроены, почему они иногда болеют и как им можно помочь. Придя на первый курс, она встретила своих

единомышленников. Группа, в которой она училась, сразу включилась в учёбу, практические занятия проходили в такой атмосфере, что ни разговоров, ни лишних реплик в аудиториях не было, каждое слово, каждое движение своих преподавателей они ловили с замиранием сердца. Позже эти парни и девушки стали учёными Сибири и Дальнего Востока, которые занимались проблемами ветеринарии в нашей стране, из выпуска 6 человек стали докторами наук.



а **б**

а – 1973 г., б – 1978 г.

Рисунок 1 – **Студенческая группа 213(а)**

Ольга Петровна с удовольствием посещала научные кружки, которые действовали на базе института, проводила исследования по терапии, оперировала животных.

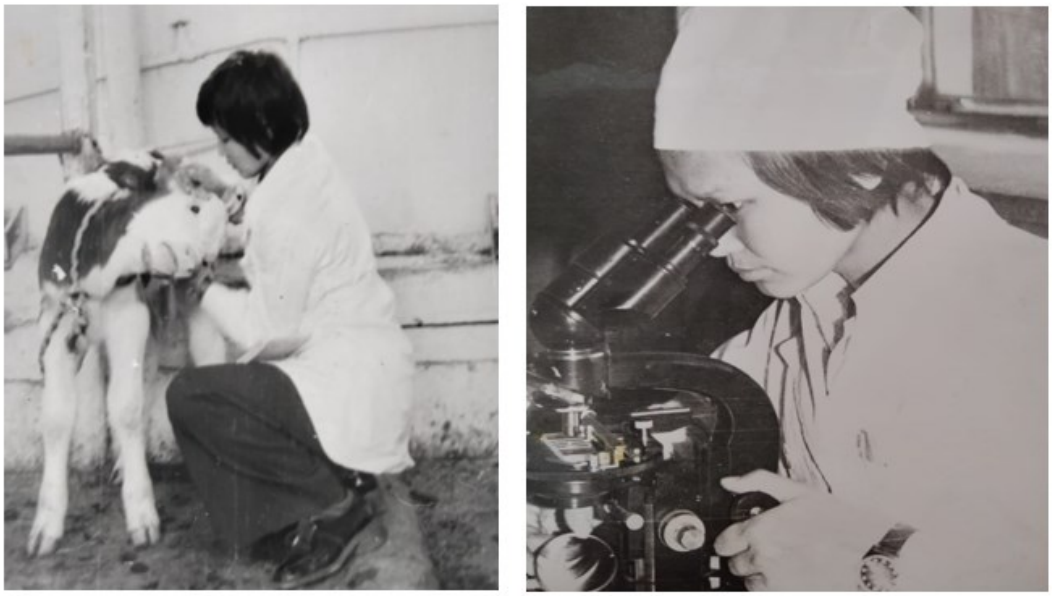


Рисунок 2 – **Студенческий научный кружок, 1975 г.**

Она активно участвовала в общественной жизни института, за отличную учёбу неоднократно получала благодарности. В 1976 году Ольга Петровна с другими студентами-отличниками из Бурятии была приглашена в Кремль. На четвёртом курсе по комсомольской путёвке за отличную учёбу она была направлена в Чехословакию.



а б

Рисунок 3 – **Гербовый зал в Кремле, 1976 г. (а), грамота ЦК ВЛКСМ (б).**

После окончания института в 1978 году Ольга Петровна по распределению стала работать ветеринарным врачом на Улан-Удэнской птицефабрике, где успешно совмещала работу ветеринарного врача и секретаря комсомольской организации птицефабрики.

Работая по специальности и получив большой практический опыт работы с животными и птицей, Ольга Петровна приняла решение поступить в аспирантуру Казанского ветеринарного института, где обучалась с 1980 по 1983 гг. В 1984 году она успешно защитила кандидатскую диссертацию по специальности 16.00.08 – «Гигиена сельскохозяйственных животных». После защиты кандидатской диссертации она вернулась в родной Бурятский сельскохозяйственный институт, где с 1984 по 1985 гг. работала заместителем секретаря комитета комсомола института. В 1985 году молодой кандидат наук была приглашена ректором И.П. Терских в Иркутский сельскохозяйственный институт на должность старшего преподавателя, с 1989 года она избирается на должность доцента кафедры анатомии и физиологии животных.



Рисунок 4 – **Кафедра анатомии и физиологии животных, 1994 г.**

Весь период работы в ВУЗе Ольга Петровна проводила исследования по изучению патологии обмена веществ у животных под руководством заслуженного деятеля науки РФ, профессора Юрия Абогоевича Тарнуева и профессора Бориса Яковлевича Власова. По материалам проведённых исследований в 2000 году она защитила докторскую диссертацию по двум специальностям 16.00.01 – «Диагностика болезней и терапия животных», 16.00.02 – «Патология, морфология и онкология» в диссертационном совете Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова.



Рисунок 5 – **Защита докторской диссертации, г. Улан-Удэ, 2000 г.**

В 2001 году коллегией ВАК Российской Федерации ей присуждена учёная степень доктора ветеринарных наук, в этом же году она избрана по конкурсу на должность заведующего кафедрой анатомии, физиологии и патофизиологии животных. Заслуженное учёное звание профессора по специальности 06.02.01 – «Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных» присвоено в 2004 году.

В 2005 году Ольгу Петровну избирают деканом зооинженерного факультета. По инициативе декана, факультет в 2012 году переименован в Биотехнологии и ветеринарной медицины. Под непосредственным руководством О.П. Ильиной и профессора Ю.И. Созоновым, на факультете были открыты такие новые специальности, как «Ветеринария» и научная специальность по аспирантуре 16.00.02 – «Патология, онкология и морфология животных». Благодаря её многолетнему опыту, высокому профессионализму и инициативе в 2012 году открыта специальность «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции», в 2014 году направление подготовки «Ветеринарно-санитарная экспертиза» и в 2015 году – магистратура по «Зоотехния». Кроме того, на факультете Ольгой Петровной организованы две лаборатория «Патогистологии и диагностики болезней животных» и «Патологоанатомическая лаборатория судебно-ветеринарной экспертизы». На сегодняшний день лаборатории объединены и преобразована в учебную научно-исследовательскую лабораторию «Диагностика и патоморфология животных». На

базе этих лабораторий защищены более 10 кандидатских и докторских диссертаций.

Большое внимание Ольга Петровна уделяет научно-исследовательской работе и подготовке специалистов высшей квалификации, под её руководством защищено 7 кандидатских диссертаций: Бальжинимаева Лыгжима Ранжуровна «Гипоксическое состояние и их коррекция средствами природного происхождения», 2002 г.; Балтухаева Тамара Андреевна «Нарушение метаболизма железа в условиях тиоцинатного гипотериоза и способы его коррекции», 2006 г.; Шотников Николай Кириллович «Морфолого-метаболические аспекты защитного действия гипоксена при переломе кости и глюкокортироидном остеопорозе», 2009 г.; Бабушкина Инна Викторовна «Влияние модифицированного клеточного ксенотрансплантанта на индукцию защитных белков в повреждённом миокарде», 2011 г.; Григорьев Григорий Евгеньевич «Особенности лечения повреждений кожи у животных», 2012 г.; Карлова Елена Александровна «Клинико-биохимические показатели гормонального статуса при гепатите у собак на фоне йоддефицита и пути его коррекции», 2014 г.; Карпова Екатерина Александровна «Морфофункциональные изменения в печени при токсическом поражении и при его коррекции», 2014 г.. В 2012 году под руководством юбиляра защищена докторская диссертация «Морфолого-метаболическое обоснование применения малоновой кислоты в промышленном птицеводстве» Карелиной Любови Николаевны.

В данный момент юбиляр является научным консультантам у двух аспирантов, один из которых является гражданином Камеруна, руководит научной школой «Патоморфологические изменения в органах и тканях при нарушении обмена веществ у животных», которая занимается проблемами патологии обмена веществ у животных и по экологическим проблемами ветеринарной медицины, связанной с минеральной недостаточностью у животных. Совместно с коллегами кафедры проводит исследования по морфогенезу эндемика Байкала – нерпы, итоги работ отражены во множестве научных публикациях [1, 7, 10].

По результатам научной работы доктором наук опубликовано более 300 научных тезисов, статей, монографий, опубликованных в различных отечественных и зарубежных изданиях и журналах, в том числе из белого списка, ВАК, *Scopus* [4, 5, 10]. На постоянной основе участвует в международных, региональных, межвузовских и внутривузовских научно-практических конференциях, симпозиумах в очном и заочном форматах [5, 6, 9]. В соавторстве получено три патента на изобретение.

Профессор читает лекции и проводит лабораторно-практические занятия по патофизиологии животных и ветеринарной радиобиологии студентам 2, 3, 4 курсов по направлению подготовки 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза» и по специальности 36.05.01 «Ветеринария», 36.06.01 «Ветеринария и зоотехния» на факультете биотехнологии и ветеринарной медицины. Лекционные, лабораторные и практические занятия Ольги Петровны отличаются чёткостью, логичностью и последовательностью изложения материала, наличием примеров практического содержания, использует современные

компьютерные технологии. Все эти педагогические навыки были впитаны ею ещё в студенчестве, когда она проходила обучение в ВУЗе у своих любимых преподавателей.

Ильиной О.П. подготовлено и издано более трёх десятков различных учебно-методических учебников, пособий и указаний, основными из них являются: практикум по внутренним незаразным болезням, «Общая нозология и типовые процессы в патологии животных», методические указания к решению проблемных ситуаций по ликвидации и предупреждению инфекционных заболеваний животных «Диагностика важнейших инфекционных заболеваний животных», «Маститы у коров», «Патология обмена веществ», «Атлас по анатомии байкальской нерпы», «Ветеринарная санитария», «Ветеринарная гематология» и многие другие [1, 2, 3, 8].



а **б**

Рисунок 6 – **Государственная аттестационная комиссия г. Иркутск, 2019 г (а), г. Улан-Удэ, 2007 г (б)**

Профессор Ильина Ольга Петровна является членом диссертационных советов по защите докторских диссертаций в Бурятской государственной сельскохозяйственной академии в г. Улан-Удэ, Алтайском ГАУ (разовые защиты г. Барнаул). Неоднократно была председателем ГАКов в Дальневосточном ГАУ (г. Благовещенск), Бурятской ГСХА (Улан-Удэ), Приморской ГСХА. По характеру профессиональной деятельности Ольга Петровна часто выступает оппонентом как докторских, так и кандидатских диссертаций.

Ильина О.П. награждена почётной грамотой Министерства образования России; нагрудным знаком «За активное участие во Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2006 года»; нагрудным знаком «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»; почётной грамотой Министерства сельского хозяйства России; вручена памятная общественная медаль «За заслуги в области ветеринарии» по Иркутской области и республике Бурятия, медаль Агропромышленного союза России «За трудовую доблесть», медаль Почётного работника высшего образования. Имеет благодарность министерства сельского хозяйства Монголии.



Рисунок 7 – **Доктор ветеринарных наук, профессор О.П. Ильина**

Работая в должности декана, с 2005 года всесторонне развивает родной факультет: в лабораториях осваиваются и совершенствуются методы исследования, приобретается оборудование, в том числе за счёт грантов; проводятся факультетские конференции, круглые столы, олимпиада по анатомии животных. Плодотворно ведётся профориентационная работа и в настоящее время контингент студентов составляет около 800 студентов, в том числе иностранных, очной, заочной и очно-заочной форм обучения. Учебная и воспитательная работа также организована на должном уровне, что доказывают высокие достижения студентов в учёбе, науке, спорте, творчестве. Студенты получают практические опыт и навыки на ведущих предприятиях области, задействованы в волонтерских и патриотических движениях.

Ольга Петровна пользуется заслуженным авторитетом у студентов и коллег, поддерживает дружеские и деловые отношения со своими выпускниками. Она очень надёжный и верный друг, на которого можно положиться в трудную минуту. Со своими друзьями Ольга Петровна поддерживает отношения, организует встречи, отдых, интересуется их судьбой, хоть и жизнь их раскидала по разным уголкам нашей страны и даже мира. Она любит природу и активный отдых, является заядлым автомобилистом, заботится о своих родных, помня о том, какой любовью она была окружена в детстве.

Коллектив факультета биотехнологии и ветеринарной медицины Иркутского ГАУ от всей души желает крепкого здоровья, творческих успехов и новых научных достижений. Пусть Ваши трудовые достижения принесут неоценимую пользу обществу, а Вам подарят огромное моральное удовлетворение, благополучие, радость и уважение! Ольга Петровна, вы патриот своей

страны, высококвалифицированный ветеринарный врач, такими не становятся – такими рождаются!

Список литературы

1. Атлас по анатомии байкальской нерпе / *Н.И. Рядинская, И.В. Аникиенко, А.А. Молькова, С.А. Сайванова, В.Н. Тарасевич, М.А. Табакова, Т.Е. Помойницкая* // Изд-во Иркутского ГАУ, 2017. – on-line (Электронная библиотека Иркутского ГАУ). – Режим доступа: http://195.206.39.221/fulltext/atlas_po_nerpe/index.htm.

2. *Ильина, О.П.* и др. Словарь терминов (биологический): словарь / *С.А. Сайванова, Н.И. Рядинская* // Изд-во Иркутский ГАУ, 2023. – 217 с.

3. *Карпова, Е.А.* и др. Ветеринарная гематология: учебное пособие / *Е.А. Карпова, С.А. Сайванова, И.В. Аникиенко, О.П. Ильина* // Изд-во Иркутский ГАУ, 2020. – 101 с.

4. *Ryadinskaya, N.I.* Identification of causes of death of Baikal seal (Puca sibirica Gmelin, 1788) / *I.V. Anikienko, S.A. Saivanova, I.V. Maltsev, M.A. Tabakova, A.A. Molkova, T.E. Pomoinitskaya* // Turkish journal of zoology, 2020 – С.60-63.

5. *Сайванова, С.А.* и др. Венозное русло селезенки байкальской нерпы / *С.А. Сайванова, Н.И. Рядинская* // Вестник ИрГСХА. Иркутск, 2016. вып. № 77. С. 110-117.

6. *Сайванова, С.А.* и др. Кровоснабжение селезенки у байкальской нерпы / *С.А. Сайванова, Н.И. Рядинская, О.П. Ильина* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул : Изд-во АГАУ. 2016. № 2 (136). С. 132-137.

7. *Сайванова, С.А.* Морфологические особенности селезенки байкальской нерпы: монография / *С.А. Сайванова, Н.И. Рядинская, О.П. Ильина* // Изд-во Иркутский ГАУ, 2018. – 120 с.

8. *Сайванова, С.А.* Ветеринарная санитария на животноводческих предприятиях: учебное пособие / *С.А. Сайванова, О.П. Ильина.* – М. : «Издательско-книготорговый центр Колос-с, 2023 – 128 с.

9. *Сайванова, С.А.* Сравнительные анатомические особенности селезенки северного морского котика и байкальской нерпы / *С.А. Сайванова, О.П. Ильина, Д.А. Герасимова* // Научно-теоретический медицинский журнал «Морфология». – Санкт-Петербург, 2020. Том 157, вып. № 2-3, С. 184.

10. *Saivanova, S.A.* Topography of the superficial lymph nodes of the Baikal seal / *S.A. Saivanova, N.I. Ryadinskaya, O.P. Ilyina* // AIP Conference proceedings. International conference «Sustainable development: Veterinary medicine, agriculture, engineering and ecology» (VMAEE2022). – Moscow, 2023. – s. 020032.

Сведения об авторе

Сайванова Светлана Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии животных и ветеринарной санитарии Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел.: +79500808438, e-mail: ms.svetikss@mail.ru).

About the Author

Saivanova Svetlana A. – candidate of biological sciences, associate professor at the department of animal morphology and veterinary sanitation, Irkutsk state agrarian university (Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russia; tel.: +79500808438; e-mail: ms.svetikss@mail.ru).