



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И
РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА
ФГБОУ ВО ИРКУТСКИЙ ГАУ (РОССИЯ)
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
(РОССИЯ)**

МАТЕРИАЛЫ
XII Международной научно-практической конференции
«Климат, экология, сельское хозяйство Евразии»
27 - 28 апреля 2023 года

ТОМ 11

УДК 001:63
ББК 40
Н 347

Климат, экология и сельское хозяйство Евразии / Материалы XII международной научно-практической конференции: - Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, I- 2023 .- Т. II - 222 с.

В рамках международной научно-практической конференции представлены результаты исследований ученых из разных регионов России, а также Казахстана. В материалах второго тома XII Международной научно-практической конференции рассмотрены вопросы технического и энергосберегающего обеспечения производства аграрной продукции, а также проблемы приложения математических и цифровых технологий к разным аспектам сельского хозяйства. Работа может быть полезной специалистам, связанным с решением технических, энергетических и информационных задач в сфере аграрного производства.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель **Дмитриев Н.Н.** – ректор ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ,

Зам. председателя **Зайцев А.М.** – проректор по научной работе ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Ученый секретарь конференции **Иляшевич Д.И.** - председатель совета молодых ученых и студентов ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Члены: **Павлов С.А.** – зав. научно-информационного отдела ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Чернигова Д.Н. - декан агрономического факультета ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Ильина О.П. - декан факультета биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Ильин С.Н. - декан инженерного факультета ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Барсукова М.Н. - директор ИЭУПИ ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Саловаров В.О. - директор ИУПР ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

Сукьясов С.В. - декан энергетического факультета ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ

УДК 621.431.7:504.054

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА НАГРУЗКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МТА

¹Аносова А.И., ²Болоев П.А., ²Гергенова Т.П.

¹ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

²ФГБОУ ВО Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова,
Улан - Удэ, Р. Бурятия, Россия

В данной научной работе затронут вопрос влияния случайного характере нагрузки на технико-экономические и экологические показатели. Ухудшения мощностных и экономических показателей дизелей является колебание частоты вращения коленчатого вала. При этом снижение мощности составляет 10-20%, увеличение расхода топлива – 20-25%. Колебания нагрузки отрицательного влияния и на надежность двигателя, в 1,2 – 1,8 раза увеличивают интенсивность износа основных двигателей – гильзы цилиндра, колец, поршня, вкладышей подшипников. Процесс сгорания топлива является причиной образования в отработанных газах двигателей вредных и токсичных веществ. Выхлопные газы содержат гетерогенную смесь различных веществ с разнообразными химическими и физическими свойствами, которая состоит из продуктов полного и неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, аэрозолей и различных микропримесей, поступающих из цилиндров двигателя в его выпускную систему. Объемная концентрация токсичных компонентов в отработанных газах составляет от 0,2 до 2%. При этом примерно 80-95% от общей массы токсичных компонентов приходится на долю NO_x, CO, альдегидов RCHO и диоксида SO.

Ключевые слова: коленчатый вал, токсичные вещества, камера сгорания, горючие смеси, гетерогенная смесь.

TO THE QUESTION OF INFLUENCE OF THE RANDOM LOAD CHARACTER ON THE TECHNICAL-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE MTA

¹Anosova A.I., ²Boloev P.A., ²Gergenova T.P.

¹FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

²FSBEI HE Buryat state university named after V.I. Dorji Banzarov
Ulan-Ude, Russia

In this scientific work, the question of the influence of the random nature of the load on technical, economic and environmental indicators is raised. The deterioration of the power and economic indicators of diesel engines is the fluctuation in the frequency of rotation of the crankshaft. At the same time, the decrease in power is 10-20%, the increase in fuel consumption is 20-25%. Load fluctuations have a negative impact on the reliability of the engine, 1.2 - 1.8 times increase the wear rate of the main engines - cylinder liners, rings, pistons, bearing shells. The process of fuel combustion is the cause of the formation of harmful and toxic substances in the exhaust gases of engines. Exhaust gases contain a heterogeneous mixture of various substances with various chemical and physical properties, which consists of products of complete and incomplete combustion of fuel, excess air, aerosols and various microimpurities coming from the engine cylinders into its exhaust system. The volume concentration of toxic components in exhaust gases ranges from 0.2 to 2%. At

the same time, approximately 80-95% of the total mass of toxic components is accounted for by NO_x, CO, aldehydes RCHO and SO dioxide.

Key words: crankshaft, toxic substances, combustion chamber, combustible mixtures, heterogeneous mixture.

В подавляющем большинстве случаев земельный участок, на котором выполняется пахота, посев или другая сельскохозяйственная операция, неоднороден по физическим свойствам почвы (плотности, влажности), микрорельефу, сезонности и др. В связи в этом сопротивление перекачиванию машинно-тракторного агрегата (МТА) (энергетического и технологического звеньев) и рабочим органам (технологического звена агрегата) непрерывно изменяется по случайному закону.

Значительному снижению колебаний угловой скорости коленчатого вала способствует повышение приспособленности двигателя к временно возрастающим сопротивлениям. Степень приспособленности двигателя к работе на случайных нагрузках оценивается фактором его устойчивости:

$$F_g = \frac{\Delta M}{\Delta \omega},$$

где ΔM – разность момента сопротивления и крутящего момента двигателя;

$\Delta \omega = \pi \Delta n / 30$ – амплитуда колебаний угловой скорости коленчатого вала двигателя.

Характер изменения крутящего момента двигателя определяется влиянием изменения частоты вращения двигателя на цикловую подачу системы. В связи важнейшим требованием к топливной аппаратуре двигателя, работающих на режимах случайных нагрузок, становится обеспечение такой зависимости цикловой подачи от скоростного режима должна быть минимальной [1].

По многочисленным исследованиям, проведенными В.Н. Болтинским, Е.А. Козмоденьяновым, Д.Д. Багировым и многими другими, тракторные двигатели до 90% общего времени работают на режимах переменных моментов сопротивления (неустановившихся нагрузок). При этом снижение мощности составляет 10-20%, увеличение расхода топлива – 20-25%. Колебания нагрузки отрицательного влияния и на надежность двигателя, в 1,2 – 1,8 раза увеличивают интенсивность износа основных двигателей – гильзы цилиндра, колец, поршня, вкладышей подшипников.

Основной причиной указанного ухудшения мощностных и экономических показателей дизелей является колебание частоты вращения коленчатого вала. Эксперименты показывают, что амплитуда колебаний угловой скорости коленчатого вала двигателя возрастает с увеличением амплитуды колебания момента сопротивления и коэффициента загрузки двигателя.

В процессе эксплуатации МТА ухудшается также и экологические показатели. Причиной образования в отработанных газах (ОГ) двигателей вредных и токсичных веществ – процесс сгорания топлива. Состав выхлопных газов – это гетерогенная смесь различных веществ с разнообразными химическими и физическими свойствами, состоящая из продуктов полного и

неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, аэрозолей и различных микропримесей, поступающих из цилиндров двигателя в его выпускную систему. Объемная концентрация токсичных компонентов в ОГ составляет от 0,2 до 2%. При этом примерно 80-95% от общей массы токсичных компонентов приходится на долю NO_x , CO , альдегидов RCHO и диоксида SO .

Основным токсичным компонентом ОГ дизелей являются оксиды азота NO_x , являющимися продуктом окисления азота воздуха при температурах сгорания выше 2000К и высоких давлениях. Окисляется азот за фронтом пламени в зоне образования продуктов сгорания. Причем наибольшая концентрация NO имеет место в локальных зонах камеры сгорания с высоким коэффициентом избытка воздуха и максимальными температурами сгорания (дизели – 2500 К, бензиновые – 3000 К). Оксиды азота, взаимодействуя с парами воды в воздухе, образуют азотистую HNO_2 и азотную HNO_3 кислоты, которые разрушают легочную ткань, воздействуют на слизистую оболочку глаза и носа, на нервную систему и сердечно-сосудистую системы человека, кровеносные органы и печень. NO_x в десять раз токсичнее CO . Системы отравления угарным газом CO – головная боль, сердцебиение, затрудненное дыхание и тошнота.

Углеводороды C_xH_x образуются при термическом распаде топлива в зонах срыва пламени, в ядре и переднем фронте пламени у холодных стенок камеры сгорания. Наиболее токсичными компонентами ОГ – твердые частицы (сажа, оксиды металлов, сульфаты, вода, несгоревшие частицы топлива и масла).

Сажа консервирует бенз(а)пиден $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ и других полициклических ароматических канцерогенных углеводородов.

Образование оксидов серы SO_x обусловлено содержанием в топливе серы и его соединений. Действует раздражающе на слизистые оболочки, костный мозг и селезенку вызывает отравления.

Все токсичные газы ОГ в атмосфере оказывают неблагоприятное воздействие на сельскохозяйственную культуру, могут выпадать в виде кислотных осадков попадают в почву, а от туда в сельхоз продукцию.

Для снижения токсичных выбросов используют альтернативные виды топлива в виде добавок в основное топливо, нейтрализаторы и фильтры для твердых частиц, своевременную диагностику и техническое обслуживание по регулировкам систем питания и т.д.

Выбросы с ОГ двигателей регламентированы для дизелей – ГОСТ 17.2.2.05 – 97 – Охрана природы. Атмосфера выбросы ОГ дизелей, а бензиновых – ГОСТ Р52033 – 2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с ОГ

Список литературы

1. *Аносова А.И.* Влияние на экологию токсичных выбросов автотракторных двигателей / *А.И. Аносова, М.К. Бураев, П.А. Болоев, Т.П. Гергенова* // В сборнике: Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти А.А. Ежевского. п. Молодежный, 2022. С. 3-7

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

2. *Аносова А.И.* Сгорание метана в дизелях / *А.И. Аносова, Т.П. Гергенова, П.А. Болоев* // Вестник ВСГУТУ. 2022. № 4 (87). С. 24-28.
3. *Бодякина Т.В.* Повышение надежности работы топливного насоса путем использования альтернативного топлива / *Т.В. Бодякина, П.А. Болоев., М.К. Бураев и др.* // “Актуальные вопросы инженерно - технического и технологического обеспечения АПК”: Материалы VIII научно - практической конференции с международным участием “Чтения И. П. Терских” (ИрГАУ имени. А. А. Ежевского, 26 - 27 сентября 2019 г. г. Иркутск) – Иркутск: Издательство ИрГАУ, 2019. – С. 36 – 42.
4. *Болоев П.А.* Повышение эффективности использования трактора в составе с. - х. МТА путем стабилизации циклов подачи топлива / *П.А. Болоев* // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Челябинск, 1984. –169 с.
5. *Болоев П.А.* Влияние условий эксплуатации на динамику работы двигателя / *П.А. Болоев, Т.П. Гергенова, А.И. Аносова, П.И. Ильин* / 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. 11 – 15.
6. *Болоев П.А.* Улучшение экологических показателей альтернативных моторных топлив / *П.А. Болоев, Н.С. Хатархеева, Т.П. Гергенова* // Материалы VIII Регион. науч.-практ. конф., посвящ. юбилею проф. Д.С. Сандитова. – Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2021. – С. 63 – 65.
7. *Болоев П.А.* Улучшение экологических показателей работы автотракторных двигателей путем перевода на сжиженный газ / *П.А. Болоев, П.Г. Смирнов, Т.П. Перфильева* // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 36. – С. 36 – 41.
8. *Горелик Г.Б.* Водотопливная эмульсия - альтернативное топливо XXI века: монография. - Хабаровск: ТОГУ, 2019. - 202 с.
9. *Хараев Ю.А.* Альтернативные виды топлива для двигателей как важнейшего источника энергии машин [Текст] / *Ю.А. Хараев, С.Н. Шуханов* // В сборнике: Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. Материалы всероссийской студенческой научно-практической конференции: в IV томах. п. Молодежный. - 2022. - С. 223-230
10. *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.

Сведения об авторах

Аносова Анна Иннокентьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технической сервис и общеинженерных дисциплин инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 89836938151, e-mail: a.anosova@yandex.ru).

Болоев Петр Антонович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения. Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова (670000, Россия, Республика Бурятия, Улан-Удэ, тел. 89500801880, e-mail: boloev.pioter.irgsh@yandex.ru).

Гергенова Татьяна Петровна – старший преподаватель кафедры машиностроения. Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова (664038, Россия, 670000, Россия, Республика Бурятия, Улан-Удэ, тел. 89500801880, e-mail: ochirova@yandex.ru).

УДК 355.695.2

ОБЗОР И АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Боярский М.С., Егоров И.Б., Цэдашиев Ц.В.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Надежность автомобиля в большинстве случаев напрямую связана со своевременным обслуживанием и устранением неисправности. Несоблюдение регламента обслуживания приводит к интенсивному изнашиванию деталей и возникновению отказов.

Одним из наиболее важных направлений обеспечения надежности двигателей автомобилей является контроль качества и состояния моторных масел в процессе эксплуатации, а также обоснование браковочных характеристик и их предельных значений для оценки качества работающих масел и регламента его замены. Многие автовладельцы придерживаются сервисного регламента, согласно которому замену масла в двигателе необходимо производить каждые 10 - 15 тыс. км. При этом далеко не всегда учитывается целый ряд особенностей эксплуатации и других факторов, которые могут в значительной степени повлиять на ресурс масла. Влияние масел на долговечность и надежность деталей машин определяется их способностью защищать трущиеся поверхности от износа, обеспечивать необходимые характеристики их трения, снижать потери на трение. В современных механизмах, эксплуатируемых при напряженных механических и термических режимах, масла работают в очень тяжелых условиях [4]. Моторные масла являются индикатором режимов и условий эксплуатации двигателя, его технического состояния и поэтому от его качества зависит надежность самого двигателя [1]. Поэтому совершенствование методов контроля состояния работающих масел является актуальной задачей.

Ключевые слова: транспортное средство, двигатель, моторное масло, надежность, техническое обслуживание.

REVIEW AND ANALYSIS OF THE OPERATION OF DEVICES FOR DETERMINING THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF OPERATIONAL MATERIALS

Boyarsky M.S., Egorov I.B., Tsedashiev Ts.V.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The reliability of the car in most cases is directly related to timely maintenance and troubleshooting. Failure to comply with the maintenance regulations leads to intensive wear of parts and the occurrence of failures. One of the most important areas of ensuring the reliability of car engines is the quality control and condition of motor oils during operation, as well as the justification of defective characteristics and their limit values for assessing the quality of working oils and the regulations for its replacement. Many car owners adhere to the service regulations, according to which it is necessary to replace the oil in the engine every 10 - 15 thousand km. At the same time, a number of operational features and other factors that can significantly affect the oil resource are not always taken into account. The influence of oils on the durability and reliability of machine parts is determined by their ability to protect the rubbing surfaces from wear, provide the necessary characteristics of their friction, reduce friction losses. In modern mechanisms operated under stressful

mechanical and thermal conditions, oils work in very difficult conditions [4]. Engine oils are an indicator of the modes and operating conditions of the engine, its technical condition, and therefore the reliability of the engine itself depends on its quality [1]. Therefore, improving the methods of monitoring the condition of working oils is an urgent task.

Key words: Car, engine, engine oil, reliability, maintenance.

Машина трения – это установка, предназначенная для испытания материалов на трение и износ, а также изучения процессов трения [7].

Оценка противоизносных и противозадирных свойств масел с помощью машин трения удобна из-за сравнительной простоты, малых количеств масла и кратковременности испытаний.

Машина трения состоит из привода, осуществляющего относительное перемещение контактирующих образцов, устройств для установки испытательных образцов, устройства для нагружения узла трения, устройства для контроля выходных параметров и ряда дополнительных устройств (для подачи смазочного материала на фрикционный контакт, нагрева узла трения или создания в нем криогенных температур, для обеспечения проведения испытания в контролируемой атмосфере и т.д.).

Принцип работы оборудования заключается в соединении пары изучаемых материалов с заданным усилием и обеспечении вращения деталей с заранее установленной скоростью.

Триботехническая установка делится на две основные части: испытательную и управляющую. Испытательный (основной) механизм состоит из блока трения, приводного устройства, узла нагружения, измеряющего прибора и камеры.

В результате многочисленных исследований в настоящее время у большинства ученых сложилось мнение, что оценка масел на машинах трения не может дать результаты, достаточно близко совпадающие с поведением этих масел в эксплуатации. Более того, одни и те же масла на различных машинах трения оцениваются совершенно по-разному.

Машины трения можно разбить на две основные группы. К первой из них следует отнести конструкции, в которых реализуется чистое трение скольжения в условиях линейного (машины трения Алмен, Фалекс, Тимкен) или точечного (машины трения четырехшариковая, с перекрещивающимися цилиндрами) контакта. Вторая группа включает машины трения, сконструированные на принципе совмещения трения скольжения с качением (например, машины трения SAE и дисковая).

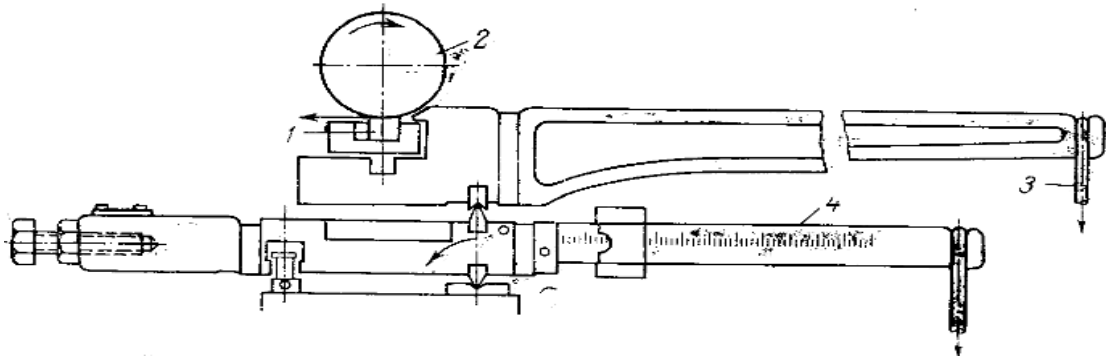


Рисунок 1 - Схема основного узла машины трения Тимкен

1- брусок; 2-кольцо; 3-нагрузка; 4- нагрузочная шкала.

Машина трения Тимкена. Пару трения в машине Тимкен составляет кольцо диаметром 47,6 мм, вращающееся под нагрузкой по неподвижному бруску размером $12,7 \times 12,7 \times 19$ мм. Обе детали выполнены из стали и закалены до твердости 60-62 по Роквеллу.

Кольцо своей внутренней поверхностью, выполненной на конус, крепится на горизонтальном шпинделе, на другом конце которого установлен приводной шкив. Брусок закреплен неподвижно под кольцом в специальном держателе. Последний связан с системой из двух рычагов, из которых верхний является нагрузочным, а нижний - удерживающим. Нагрузочный рычаг опирается на трехгранную призму, установленную на нижнем рычаге. Последний также опирается на призму и на одном конце несет нагрузку, тогда как другой связан с ограничителем. На нижнем рычаге смонтирован арретир, передвижение которого вдоль рычага позволяет устанавливать точную нагрузку. С помощью описанного устройства брусок в процессе испытаний удерживается в одном и том же положении относительно вращающегося кольца, а нагрузка сохраняется постоянной.

Непосредственно над картером, несущим шпиндель, установлен масляный бачок (емкость 2,5 л), снабженный нагревателем, позволяющим поддерживать температуру масла до 120°C . Во время испытания масло из бачка обтекает пару трения и собирается в приемнике, установленном в нижней части машины трения. Из приемника масло насосом, работающим от шпинделя, перекачивается обратно в бачок.

Приводом для машины трения служит электромотор мощностью 2 л. с., обеспечивающий через ременную передачу скорость вращения шпинделя 800 об/мин, что соответствует в трущемся контакте скорости скольжения около 2 м/сек.

Для установления предельно допустимой нагрузки масляной пленки по методу CRC L-18 (федеральный метод 6505-T) в бачок заливают испытуемое масло и нагревают его до 38°C . В то время как пара трения подготавливается к испытаниям, включают привод и заставляют масло циркулировать, прогревая тем самым насос и шпиндель.

Перед установкой кольца и бруска их слегка протирают тонкой наждачной бумагой, промывают, высушивают и взвешивают с точностью до 1 мг. На рычаги подвешивают чашки с грузом. Затем на шпинделе закрепляют кольцо, а в

держателе брусочек и проверяют установку опорных призм. Кольцо и брусочек перед включением привода смазывают испытываемым маслом.

Доводят скорость вращения шпинделя до 800 об/мин. Быстро прикладывают нагрузку к брусочку, снимая ограничитель с нижнего рычага. Испытания продолжают в течение 10 мин до наступления задира. Если задир к концу испытаний не появился, то выключают привод, прекращают подачу масла к паре трения и измеряют температуру масла в бачке и на брусочке. Брусочек устанавливают второй стороной, крепят на шпинделе новое кольцо и испытание повторяют. Первоначально нагрузку повышают ступенчато (по 4,5 кг). При появлении задира нагрузку уменьшают на одну ступень, и с целью более точного определения предельно допустимой нагрузки дальнейшие испытания ведут ступенями по 0,45 кг. Ширина пятна износа измеряется с помощью микроскопа Бринелля, а кольцо и брусочек повторно взвешиваются. При необходимости может подсчитываться также коэффициент трения [10].

Четырехшариковая машина трения. Основу машины трения составляют три стальных шарика от шарикоподшипника, закрепленные в горизонтальной плоскости в чашке, служащей одновременно резервуаром для испытываемого масла. В углубление, образованное этими тремя шариками, помещен четвертый шарик, установленный во вращающемся патроне. Нагрузку на трущиеся шарики задают, поджимая чашку к верхнему шарика с помощью нагрузочного рычага или спиральной пружины. Установка чашки на упорном подшипнике позволяет ей свободно вращаться под воздействием сил трения. Закрепляя на чашке конец калиброванной пружины, можно измерять в процессе испытаний изменение коэффициента трения [11].

Предложено несколько методов проведения эксперимента на четырехшариковой машине трения. Наибольшее распространение получил следующий. Закрепляют в чашке и патроне тщательно промытые шарики. Затем задают нагрузку и работают в течение 1 мин, непрерывно записывая при этом коэффициент трения.

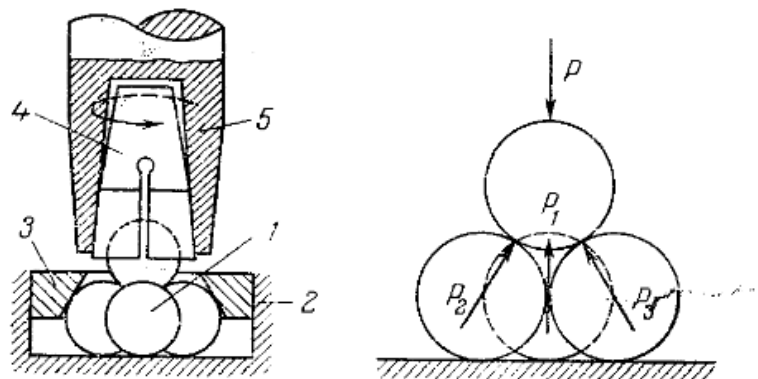


Рисунок 2- Схематическое устройство основного узла (четырёхшариковой машины трения (слева) и распределение нагрузки на шариках (справа): 1-пирамида из испытываемых шариков; 2-державка для шариков, служащая одновременно резервуаром для оцениваемого масла; 3-зажимная гайка; 4-цанга; 5-шпиндель)

Если резкого изменения коэффициента трения не происходит, нагрузку увеличивают и опыт повторяют, предварительно меняя место контакта на

шариках. После каждого испытания замеряют диаметр пятна износа на неподвижных шариках. На основании полученных данных строят в логарифмических координатах зависимость среднего диаметра пятна износа (из замеров пятна на каждом из трех неподвижных шариков) от осевой нагрузки. Противозадирные свойства масла характеризуют нагрузкой, называемой критической и обозначаемой R_k , при которой наблюдается резкое возрастание указанной кривой.

Значительное число исследований было выполнено по другому методу, при котором замеряли характер изменения коэффициента трения только в течение первых 2,5 сек работы машины трения. Метод имеет то преимущество, что испытываемое масло и трущиеся детали не разогреваются и искажения результатов испытаний от температуры не происходит.

Машина трения Фалекс. Пара трения в машине Фалекс представляет собой стальной палец диаметром 6,35 мм, помещенный между двумя V-образными стальными плашками. Палец закреплен в вертикальном шпинделе, приводимом от электромотора мощностью 0,25 л. с. через редуктор со скоростью 290 об/мин. Нагрузка на плашки задается с помощью пружинного механизма. Пара трения погружена в резервуар с испытываемым маслом. Внешний вид машины трения показан на рисунке 3.

Перед началом испытаний машину трения прогревают, для чего работу проводят при нагрузке 226,5 кг в течение 15 мин на масле, противозадирные. Узел пары трения свойства которого позволяют выдерживать машины Фалекс. вать указанный режим. Затем детали промывают, устанавливают новую пару трения и заливают испытываемое масло. Работу продолжают в течение 3 мин при нагрузке 226,5 кг. По истечении третьей минуты работы увеличивают нагрузку вдвое (до 453 кг) и работают еще 1 мин. Еще раз увеличивают нагрузку до 679,5 кг. При этой нагрузке ведут испытание 10 мин, причем если нагрузка за счет износа деталей снижается, соответствующей регулировкой нагрузочного механизма ее выводят на прежний уровень. Помимо нагрузки и периода времени до наступления задира (если он имел место), фиксируют также температуру масла и состояние трущихся поверхностей.

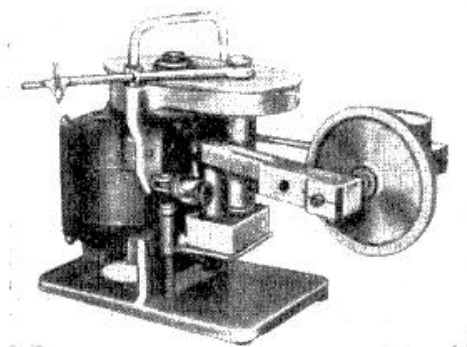


Рисунок 3 - Машинка трения Фалекс

Машина трения Алмен – Виланд. Пара трения машины Алмен - Виланд состоит из стального валика диаметром 6,35 мм, вращающегося между двумя стальными полувкладышами. Валик и вкладыши не подвергаются специальной

термической обработке. Внутренний диаметр сверления вкладышей превышает диаметр валика на 0,18 мм, что обеспечивает контакт трущихся деталей по сравнительно небольшой площади. От проворачивания вкладыши удерживаются центрующими штифтами. Нагрузка прикладывается гидравлически поджиманием вкладышей к валику и замеряется с помощью манометра, врезанного в гидравлическую систему нагружения. Вращение валика со скоростью 200 об/мин осуществляется от балансирного электромотора, снабженного противовесом. По углу поворота мотора, фиксируемого по указателю на специальной шкале, судят о величине крутящего момента. Величину износа валика и вкладышей устанавливают по индикатору, шкала которого градуирована в мм. Количество оборотов валика регистрируется счетчиком.

Перед испытаниями устанавливают новый валик и вкладыши и в чашку заливают примерно 25 мл испытуемого масла. Включают электромотор, не задавая нагрузку на вкладыши. Затем прикладывают нагрузку 60 кг и фиксируют температуру масла, показания индикатора износа и величину крутящего момента. Через каждые 100 оборотов валика нагрузку увеличивают на 50 кг и снова записывают показания приборов. Момент наступления задира определяют по нагрузке, при которой хвостовик валика, входящий в прорезь приводного вала, срезается. Увеличение нагрузки допускается только до 2000 кг. Результаты испытаний выражают числом ступеней нагружения (за одну ступень принята нагрузка 50 кг). На основании показаний приборов строят графики изменения износа, крутящего момента и температуры масла по ступеням.

Заключение. Устройства для проверки триботехнических свойств позволяют определить основные качества эксплуатационных материалов при подборе соответствующих режимов работы на примере двигателя, трансмиссии и т.д.

Список литературы

1. Берко, А. В., Метод контроля моторных масел по параметрам термоокислительной стабильности и триботехническим характеристикам : дис. ... канд. техн. наук: 05. 11. 13 / Берко Александр Валентинович. - Томск, 2015. - 164 с.
2. Боуден, Ф.П. Трение и смазка / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. М.: Машгиз, 1980. 181 с.
3. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
4. Дерягин, Б.В. Что такое трение? / Б.В. Дерягин. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 230 с.
5. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
6. Лекция по ТО и ремонту [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://multiurok.ru/index.php/files/liektsiia-po-to-i-riemontu.html> - 02.04.2023
7. Машина трения: устройство и принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mirsmazok.ru/raznoe/mashina-treniya-ustroystvo-i-printsip-raboty> - 05.04.2023
8. Розенберг, Ю. А., Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машин : учебник / Ю. А. Розенберг. - Москва: Машиностроение, 1970. - с. 312.
9. Сысоева, С., Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем.
10. Тикмена машина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chem21.info/info/1031856/> - 30.03.2023

11. ЧШМ (ЧЕТЫРЕХШАРИКОВАЯ МАШИНА ТРЕНИЯ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tribology.site/publ/chshm_chetyreksharikovaja_mashina_trenija/1-1-0-3 - 01.04.2023

Сведения об авторах

Боярский Михаил Сергеевич – студент 4 курса инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный тел. 89501166848, e-mail: boam53093@gmail.com).

Егоров Игорь Борисович – магистрант инженерного факультета, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный тел. 89041209854, e-mail: igoresha.98@mail.ru).

Цэдашиев Цырендаши Владимирович – старший преподаватель кафедры «Эксплуатации МТП, БЖД и ПО». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел: 89500834583, e-mail: thedashiev@mail.ru).

УДК 631.33.022

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ БУНКЕРНЫХ СЕМЯН ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Бричагина А.А., Степанов Н.В., Пальвинский В.В., Моисеев А.В.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье приведены результаты исследований по определению качества семян льна масличного в бункерах зерноуборочных комбайнов, проводимых в хозяйствах Иркутской области. Режимы работы комбайна и технологические регулировки выбирались согласно рекомендациям заводского руководства по эксплуатации, при необходимости, вносились корректировки. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ. В отобранных образцах определялось процентное содержание: основной массы семян и масличной примеси, сорной примеси. Установлено, что качество семян соответствует предъявляемым агротехническим требованиям. В результате исследований установлено, что основными засорителями льна масличного на полях хозяйств Иркутской области является марь белая, в меньшей степени – щирица. Удаление семян мари белой и щирицы из семян льна возможно на зерноочистительных машинах. Приведены результаты исследований аэродинамических свойств семян льна в восходящем воздушном потоке на лабораторной установке. Исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками. Определены средневзвешенная скорость витания и коэффициент парусности семян льна, произрастающего на полях Иркутской области. Полученные результаты исследований аэродинамических свойств семян льна можно использовать для обоснования режимов работы воздушной части зерноочистительных машин.

Ключевые слова: лен масличный, уборка урожая, качество семян, аэродинамические свойства семян, коэффициент парусности семян.

FRACTIONAL COMPOSITION OF BUNKER SEEDS OF OIL FLAX

Brichagina A.A., Stepanov N.V., Palvinsky V.V., Moiseev A.V.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article presents the results of studies to determine the quality of oilseed flax seeds in the bunkers of combine harvesters carried out in the farms of the Irkutsk region. The harvester operating modes and technological adjustments were selected according to the recommendations of the factory operation manual, and, if necessary, adjustments were made. The studies were carried out in accordance with GOST. In the selected samples, the percentage content was determined: the main mass of seeds and oilseed impurities, weed impurities. It has been established that the quality of the seeds meets the agrotechnical requirements. As a result of the research, it was found that the main weeds of oil flax in the fields of farms in the Irkutsk region are white gauze, to a lesser extent - amaranth. Removal of seeds of mari white and amaranth from flax seeds is possible on grain cleaning machines. The results of studies of the aerodynamic properties of flax seeds in an ascending air flow on a laboratory installation are presented. The studies were carried out in accordance with generally accepted methods. The weighted average speed of soaring and the coefficient of windage of flax seeds growing in the fields of the Irkutsk region have been determined. The obtained results of studies of the aerodynamic properties of flax seeds can be used to substantiate the operating modes of the air part of grain cleaning machines.

Key words: oilseed flax, harvesting, seed quality, aerodynamic properties of seeds, windage coefficient of seeds.

За последние годы в структуре севооборота Иркутской области значительно возросло количество посевных площадей, занятых под возделывание масличных культур. В 2022 г. по сравнению с 2021 г. площадь увеличена на 53% и составила 87,3 тыс. га. Одним из наиболее перспективных направлений является производство масличного льна. Лен масличный в Иркутской области впервые стали возделывать в 2020 году, эксперимент поставили на одном из сельхозпредприятий, посеяв 169 га. В 2021 году посевная площадь под лен в этой организации в Заларинском и Аларском районах увеличилась до 2 025 га. В последующие годы лен начали возделывать и в других районах Иркутской области [7].

С целью определения качества семян в бункерах зерноуборочных комбайнов фирмы «ЗУК TUCANO 450» с жаткой VARIO 930 в хозяйствах Иркутской области, нами были проведены исследования при уборке масличного льна. Режимы работы комбайна и технологические регулировки выбирались согласно рекомендациям заводского руководства по эксплуатации, при необходимости, вносились корректировки. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ 28301-2015 Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний» [2, 3, 4, 5].

Результаты исследований при уборке масличного льна в хозяйстве Аларского района Иркутской области (масса 1000 зерен – 4,6 г, влажность зерна 4,8 %) комбайном ЗУК TUCANO 450 с жаткой VARIO 930 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований бункерных семян в хозяйстве Аларского района Иркутской области

Наименование показателя	Процентное содержание в навеске бункерных семян, %
1.Содержание основной массы семян и масличной примеси, всего	97,9
в том числе: - основная масса семян	97,4
Масличная примесь (дробленые, битые семена)	0,5
2.Содержание сорной примеси	2,1

В результате анализа данных таблицы 1 можно сказать, что чистота семян льна масличного в бункере составляет 97,9 %, что соответствует агротехническим требованиям.

Результаты исследований при уборке масличного льна в хозяйстве Куйтунского района Иркутской области (масса 1000 зерен – 4,3 г, влажность

зерна 4,9 %) комбайном ЗУК TUCANO 450 с жаткой VARIO 930 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований бункерных семян в хозяйстве Куйтунского района Иркутской области

Наименование показателя	Процентное содержание в навеске бункерных семян, %
1.Содержание основной массы семян и масличной примеси, всего	83,6
в том числе: - основная масса семян	82,4
Масличная примесь (дробленые, битые семена)	1,3
2.Содержание сорной примеси	16,3

В результате анализа данных таблицы 2 можно сказать, что чистота семян льна масличного в бункере составляет 83,6 %, что соответствует агротехническим требованиям.

Установлено, что основными засорителями льна масличного на полях указанных районов является марь белая, в меньшей степени – щирца.

Для обоснования необходимых режимов работы воздушной части зерноочистительных машин с целью очистки семян от сорной примеси необходимо знать аэродинамические свойства компонентов бункерных семян [6, 8, 9, 10].

Нами были проведены исследования аэродинамических свойств бункерных семян льна в восходящем воздушном потоке на лабораторной установке К-293 (рисунок 1).

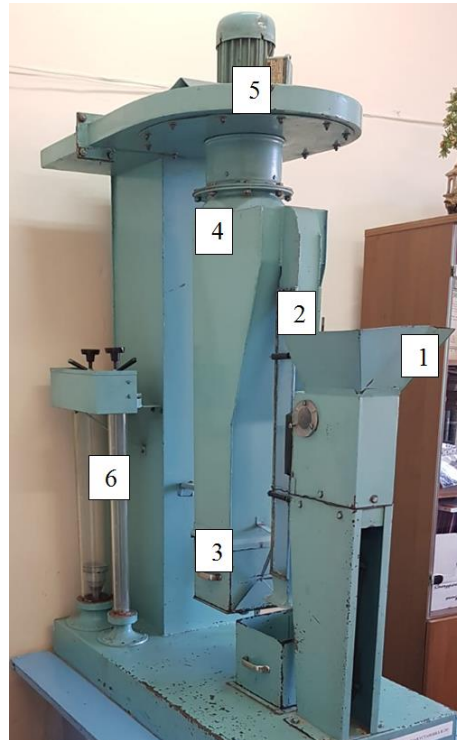


Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки К-293

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения бункерных семян льна в зависимости от скорости воздушного потока.

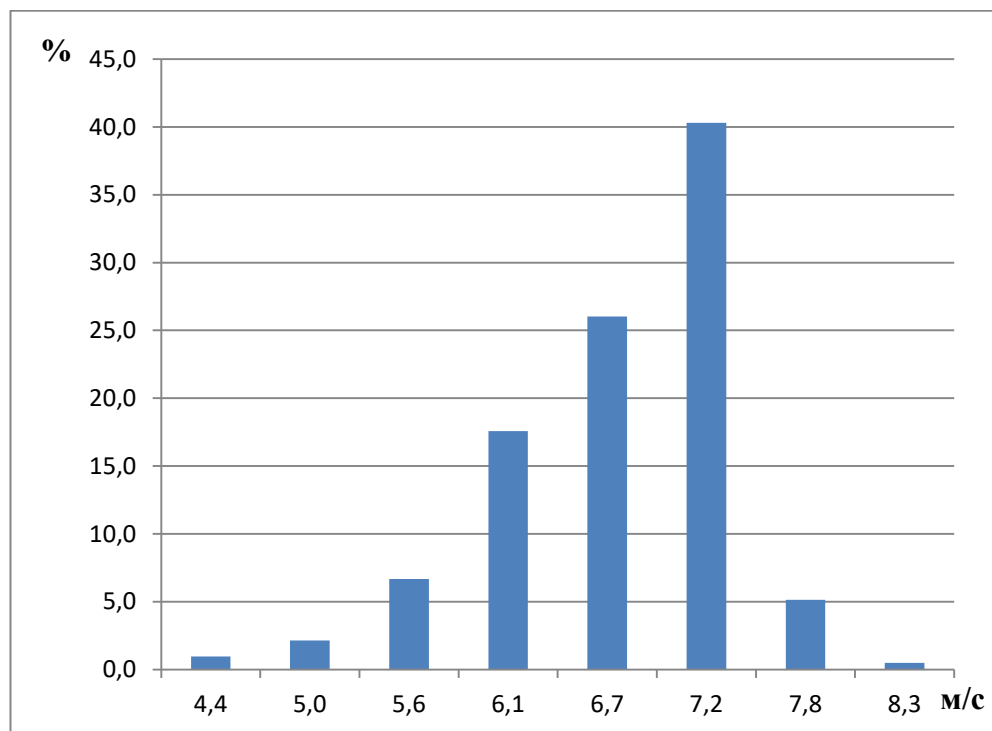


Рисунок 2 – Гистограмма распределения бункерных семян льна в зависимости от скорости воздушного потока

Из гистограммы видно, что основная часть семян уносится при скорости воздушного потока 7,8 м/с. При скоростях менее 5,0 м/с воздушным потоком уносятся семенные и цветочные оболочки. При скоростях более 7,8 м/с в уносимой массе присутствуют камни и комочки земли. Следует отметить, что в каждой фракции присутствовали семена мари белой и щиряцы, что говорит о невозможности разделения семян льна с данными семенами по аэродинамическим свойствам.

Полученные результаты исследований можно применять для обоснования режимов работы воздушной части зерноочистительных машин и пневматических систем посевных машин [1].

Список литературы

1. Бричагина А.А. Комбинированный агрегат для посева семян рапса / А.А. Бричагина, Н.В. Степанов, В.В. Пальвинский // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2023. - № 46. – С.6-13.
2. ГОСТ 10582-76 «Семена льна масличного. Промышленное сырье. Технические условия». – Введ.1.07.1977. – М.: Стандартинформ. – 2010. – 4 с.
3. ГОСТ 10852-86 «Семена масличные. Правила приемки и методы отбора проб». – Введ.30.06.1987. – М.: Стандартинформ. – 2010. – 10 с.
4. ГОСТ 10854-2015 «Семена масличные. Методы определения сорной, масличной и особо учитываемой примеси». – Введ.1.07.2016. – М.: Стандартинформ. – 2019 – 16 с.
5. Казаров, К. Р. Исследование бункерного вороха льна / К. Р. Казаров, С. А. Остряков, В. Н. Ожерельев // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК : Материалы национальной научно-практической конференции Воронежского государственного аграрного университета им. императора Петра I, Воронеж, 26 февраля 2019 года Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 142-149.
6. Коцуба, В. И. Направления повышения эффективности очистки семян льна и трав / В. И. Коцуба, В. Е. Кругленья, А. С. Алексеенко // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2020. – № 1(19). – С. 192-196.
7. Лен в Иркутской области стали сеять в 13 раз больше [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ogirk.ru/2021/07/26/ljon-v-irkutskoj-oblasti-stali-sejat-v-13-raz-bolshe/> - 1.02.2023.
8. Клочков, А. В. Скорость падения зерен в восходящем воздушном потоке / А. В. Клочков, С. С. Шкуратов // . – 2019. – № 7. – С. 83-89.
9. Тишанинов, Н. П. результаты исследований аэродинамических свойств зерновых материалов / Н. П. Тишанинов, А. В. Анашкин, С. В. Емельянович // Наука в центральной России. – 2023. – № 1(61). – С. 100-107.
10. Шаршунов, В. А. Определение скорости витания компонентов вороха льнокостры / В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – С. 171-175.

Сведения об авторах

Бричагина Анастасия Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

(664038, Россия, Иркутская область, Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89500624935, e-mail:anabri8t@gmail.com).

Степанов Николай Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения инженерного факультета ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89021710629, e-mail:anabri8t@gmail.com).

Пальвинский Виктор Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89025449794, e-mail:kvenbox@mail.ru).

Моисеев Алексей Викторович – студент 2 курса направление 35.04.06 «Агроинженерия» инженерного факультета ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89041183074, e-mail:alekseimoiseev251273@gmail.com).

УДК 621.6.033
**СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ**

¹Бодякина Т.В., ²Болоев П.А.

¹ ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

²ФГБОУ ВО Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова,
Улан-Удэ, Россия

В сферах человеческой деятельности стоит вопрос о выборе технологий по сокращению выбросов и сохранению окружающей среды. В настоящее время спрос на моторные топлива возрастает. В связи с нарастающим спросом возникнет необходимость в освоении новых технологий получения альтернативных топлив с наименьшими затратами и удовлетворяющими спрос на моторные топлива на основе растительного сырья. Неблагоприятная экологическая ситуация как следствие негативных последствий работы автомобильного транспорта, осложняющаяся факторами опережающего развития транспортной системы и роста автомобильного парка, приводит к необходимости учета экологической составляющей при обосновании инновационных решений и выборе новых технологий.

Водородные технологии при централизованном производстве энергоносителя имеют суммарные энергозатраты ниже, чем при традиционных моторных видах топлива. Выбросы остальных загрязнителей для водородных технологий находятся в тех же пределах, что и выбросы при традиционных моторных видах топлива. Выбросы углекислого газа при электроснабжении от энергосистемы возрастают по сравнению с бензиновым двигателем, но при производстве электроэнергии на возобновляемых источниках они снижаются до одной трети. Содержание оксида углерода в отработавших газах на неустановившемся режиме имеет прямолинейную зависимость от уровня топлива, а содержание углеводов возрастает как при повышении, так и при понижении уровня топлива по сравнению с номинальным. Повышенный выброс токсичных компонентов при увеличении уровня топлива объясняется обогащением смеси, а рост выброса углеводов с понижением уровня связан с нестабильностью рабочих циклов.

Ключевые слова: водород, отработанные газы, моторное топливо, автотракторные двигатели, канцерогенные вещества, оксид углерода.

**REDUCTION OF EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE THROUGH THE USE OF
ALTERNATIVE FUELS**

¹Bodyakina T.V., ²Boloev P.A.

¹ FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

²FGBOU IN Buryat State University named after Dorji Banzarova,
Ulan-Ude, Russia

In the spheres of human activity, there is a question of choosing technologies to reduce emissions and preserve the environment. Currently, the demand for motor fuels is increasing. Due to the growing demand, there will be a need to develop new technologies for producing alternative fuels with the lowest costs and satisfying the demand for motor fuels based on vegetable raw materials.

The unfavorable environmental situation as a consequence of the negative consequences of the operation of motor transport, complicated by the factors of the advanced development of the transport system and the growth of the car fleet, leads to the need to take into account the environmental component when justifying innovative solutions and choosing new technologies.

Hydrogen technologies with centralized energy carrier production have total energy consumption lower than with traditional motor fuels. Emissions of other pollutants for hydrogen technologies are within the same limits as emissions from traditional motor fuels. Carbon dioxide emissions from electricity supply from the power grid increase compared to a gasoline engine, but when generating electricity from renewable sources, they decrease by up to one third. The carbon monoxide content in the exhaust gases in an unsteady mode has a linear dependence on the fuel level, and the hydrocarbon content increases both with an increase and with a decrease in the fuel level compared to the nominal one. The increased release of toxic components with an increase in the fuel level is explained by the enrichment of the mixture, and the increase in the release of hydrocarbons with a decrease in the level is associated with the instability of operating cycles.

Keywords: hydrogen, exhaust gases, motor fuel, automotive engines, carcinogenic substances, carbon monoxide.

В сферах человеческой деятельности, таких как общественная и производственная стоит вопрос о выборе технологий по сокращению выбросов и сохранению окружающей среды, в связи с ужесточением требований к экологии. Осуществляется поиск надежных и более экономичных технологий для решения этой задачи.

Цель исследования – анализ отработанных выбросов при использовании альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания.

Материалы и методики исследования. Основная проблема касается сферы потребления углеводородных топлив на основе нефти, которая составляет одну треть мирового потребления энергии. По проведенным исследованиям добыча нефти в мире до 2030 г. достигнет половины запасов добываемой нефти.

Однако спрос в настоящее время на моторные топлива составляет 80%, который и далее будет расти. В связи с нарастающим спросом возникнет необходимость в освоении новых технологий получения альтернативных топлив с наименьшими затратами и удовлетворяющими спрос на моторные топлива на основе растительного сырья.

А также загрязнение атмосферы требует сократить потребление традиционных углеводородных топлив. Негативное влияние оказывает загрязнение среды окружения на здоровье человека, на фауну и флору. Особо остро стоит вопрос густо населенных городах, так как выбросы в атмосферу плохо рассеиваются. Влияние на человеческий организм различных составляющих выхлопных газов приводит к таким последствиям, как нарушения центральной нервной системы, образование раковых опухолей, кислородное голодание клеток и тканей, повреждения слизистых оболочек, заболевания дыхательных путей, болезни сердца и т. п.

Результаты исследований. Проведенные исследования указывают на зависимость заболеваемости людей и выбросов отработанных газов. На основе данных по стоимости медицинского обслуживания заболеваний, вызываемых выбросами автотранспорта в США и Западной Европе, были получены

стоимостные оценки влияния работы автотранспорта на здоровье людей [2, 3]. Выбросы в окружающую среду достигают 80% [4]. Следует уделить особое внимание вопросу снижения вредных выбросов в атмосферу при работе автотракторных двигателей с учетом ущерба для экологии. При выборе новых технологий необходимо учитывать факторы, влияющие на развитие транспорта и учет экологии.

Решения существующих проблем по истощению ресурсов нефти с учетом требований к охране окружающей среды:

1. Ничего не менять в технологии автотракторной технике, и постепенно переходить к использованию нетрадиционных источников сырой нефти, запасы которых составляют около 150 млрд. т. Одновременно следует ожидать неизбежный рост вредных выбросов в окружающую среду.

2. Найти новый способ получения углеводородных моторных топлив. При этом практически не придется вносить серьезных изменений ни в устройство автомобиля и его двигатель, ни в существующую инфраструктуру по хранению и доставке моторных топлив к потребителю. Экологическая опасность, особенно в центрах потребления моторных топлив, остается высокой.

3. Изменить вид энергоносителя и тип двигателя автомобиля и трактора, чтобы полностью отойти от зависимости автотранспорта от жидкого углеводородного топлива. Комплекс технологий этого направления уже прошел научные исследования и проектные разработки. Активно началась его опытная реализация в ряде стран (США, Япония, Германия, Великобритания, Китае и др.).

Развитие науки и техники способствует применению альтернативных топлив взамен традиционных топлив.

С учетом инновационных решений для выбора альтернативного топлива для автотракторной техники необходимо провести сравнительный анализ по выбросам в окружающую среду и эксплуатационных показателей.

Анализ исследований Уханова Д.А., Ротанова Е.Г., Быченина А.П., Левиной Е.Ю. и др. подтверждают, что альтернативные технологии станут замещать традиционные моторные топлива по экономическим, эксплуатационным и экологическим показателям [1, 10].

Для оценки технологий альтернативных топлив учитывается производительность оборудования, температура процесса и давление, КПД и т.п., а также влияние на человека и окружающую среду в целом [5].

Тенденции развития автотракторной техники в мире указывают на альтернативные топлива такие, как электроэнергия, водород, смесевые топлива, а также присадки, которые в будущем заместят традиционное топливо [6, 7]. Оценка эффективности традиционных и альтернативных технологий автотранспорта и моторных топлив основана на анализе и движении следующих трех групп технологических и экономических показателей:

- цены топлива и электроэнергии,

- параметры автотракторной техники и основных компонентов (расход топлива, пробег на одной заправке, емкость аккумулятора и т.п.) и его стоимости и условий эксплуатации,
- выбросы в окружающую среду с выхлопными газами и др. факторами (мелкие частицы, шум и пр.) и ущербов от их воздействие на здоровье людей, растительный и животный мир, здания и конструкции.

Приведенные ниже результаты эффективности применения альтернативных технологий и моторных топлив в автотранспорте получены на обобщенных данных, характерных для большинства развитых стран мира. Несомненно, что конкретизация локальных условий и особенностей могут повлиять на результаты окончательного выбора.

Синтетическое моторное топливо по технологии GTL. Предполагается, что топливо GTL по своим качественным характеристикам близко к дизельному топливу и должно оцениваться на рынке по ценам близким или равным цене традиционных моторных топлив. Между тем стоимость получения GTL на 15-20% оказывается ниже цены традиционных бензина и дизтоплива. Для сравнения маржа в случае традиционных топлив достигает 45-55%.

Водородные технологии при централизованном производстве энергоносителя имеют суммарные энергозатраты на 20-40% ниже, чем при традиционных моторных видах топлива. Выбросы CO₂ зависят от способа производства водорода:

- при использовании тепла от ВГТР они составляют примерно всего одну треть от эмиссии для бензинового двигателя;
- при газификации угля оказываются практически равнозначными с традиционными двигателями;
- при электролизе на базе электроэнергии, получаемой от энергосистемы, на 55-60% больше.

Выбросы остальных загрязнителей для водородных технологий находятся в пределах 50-60% выбросов при традиционных моторных видах топлива.

Исследованиями выявлено, что около двух третей выбросов происходят в процессе эксплуатации автотракторной техники; оставшая треть распределена между производством автотракторной техники (13-18%) и топливным циклом (15-22%). В настоящее время основные выбросы в количественном выражении приходятся на CO₂ и составляют в целом 4,5-6 т CO₂ в год. В соответствии с ожидаемой динамикой снижения расходов топлива в автотракторной технике с ДВС выбросы к 2035 несколько сократятся до 3,5-5 т CO₂ в год.

Состав отработавших газов ДВС зависит от режима работы двигателя. У двигателя при неустановившихся режимах нарушаются процессы смесеобразования, что способствует повышенному выделению токсичных продуктов.

Токсическими выбросами двигателей внутреннего сгорания являются отработавшие газы, картерные газы и пары топлива из карбюратора и топливного бака. Основная часть токсических примесей поступает в атмосферу с

отработавшими газами ДВС. С картерными газами и парами топлива в атмосферу поступает около 45% углеводородов от их общего выброса.

Сажа, содержащаяся в отработавших газах, обладает большей токсичностью, чем обычная пыль. На поверхности частиц сажи адсорбируются канцерогенные вещества. Видимыми автомобильные выбросы становятся при концентрации сажи 130 мг/м³. Размеры частиц составляют 0,19—0,54 мкм и могут достигать альвеол легких или откладываться в носовых пазухах, трахеях или бронхах[1,4,5,].

Токсичность отработавших газов при работе двигателя на сжиженном нефтяном газе принимается равной токсичности отработавших газов при работе двигателя на бензине, выбросы соединений свинца отсутствуют.

Содержание оксида углерода в отработавших газах на этом режиме имеет прямолинейную зависимость от уровня топлива, а содержание углеводородов возрастает как при повышении, так и при понижении уровня топлива по сравнению с номинальным. Повышенный выброс токсичных компонентов при увеличении уровня топлива объясняется обогащением смеси, а рост выброса углеводородов с понижением уровня связан с нестабильностью рабочих циклов.

Следует отметить, что более 90 % выбросов СН газовых двигателей составляет метан, наименее экологически опасный и токсичный углеводород отработавших газов двигателей.

Скорость движения влияет также на токсичность отработавших газов. Так увеличение скорости движения грузового автомобиля средней грузоподъемности с карбюраторным двигателем с 20 до 60 км/ч уменьшает выброс СО с 83 до 27 г/км и СН с 10 до 5,8 г/км.

Экспериментально определено, что на режимах периодического разгона безнаддувный дизель выбрасывает оксида углерода на 68%, углеводородов на 50%, сажи на 100% больше, чем на энергетически эквивалентном установившемся режиме.

Повышение содержания ароматических углеводородов в бензине увеличивает выброс в окружающую среду канцерогенных соединений. На каждый процент увеличения бензола в топливе содержание его в несгоревших углеводородах в отработавших газах (ОГ) увеличивается на 0,7-0,8%, тот же показатель от содержания остальных ароматических в топливе возрастает в десятки раз меньше. Общий выброс углеводородов в окружающую среду при использовании бензинов определяется потерями от испарения и содержанием в ОГ несгоревших углеводородов. Углеводородный состав топлива оказывает большое влияние на углеводородный состав несгоревших компонентов.

В связи с тем, что предельное содержание серы в дизельных топливах выше, чем в моторном топливе, кислород находится в избытке, выбросы дизелями выше. Благоприятны условия и для образования канцерогенных веществ. Для снижения токсичных выбросов можно использовать водотопливные эмульсии (ВТЭ)[5].

В условиях эксплуатации автомобилей с дизельными двигателями неправильная установка угла опережения впрыска является одной из наиболее

часто встречающихся неисправностей. Она вызывает увеличение дымности отработавших газов и выбросов токсичных веществ. Исследования показывают, что с увеличением угла опережения впрыска дымность отработавших газов снижается. Однако увеличение угла опережения впрыска приводит к значительному росту концентрации оксидов азота. Это объясняется повышением максимальной температуры в цилиндрах дизеля, определяющей при наличии избыточного кислорода интенсивность образования оксидов азота.

Развитие рабочего процесса в двигателе зависит от угла опережения зажигания, поэтому угол опережения зажигания является одним из важнейших регулировочных параметров системы зажигания. Отклонение угла опережения зажигания даже на 1-2% по сравнению с рекомендуемым заводом-изготовителем вызывает перерасход топлива на 1 % и резкий рост выбросов углеводородов, хотя содержание оксида углерода в отработавших газах при этом изменяется незначительно.

Выводы

Мировые тенденции развития транспорта показывают, что основными конкурентами массового замещения традиционных моторных топлив становятся альтернативные топлива.

Содержание оксида углерода в отработавших газах на неустановившемся режиме имеет прямолинейную зависимость от уровня топлива, а содержание углеводородов возрастает как при повышении, так и при понижении уровня топлива по сравнению с номинальным. Повышенный выброс токсичных компонентов при увеличении уровня топлива объясняется обогащением смеси, а рост выброса углеводородов с понижением уровня связан с нестабильностью рабочих циклов [6, 7, 8, 9].

В условиях эксплуатации автомобилей с дизельными двигателями неправильная установка угла опережения впрыска является одной из наиболее часто встречающихся неисправностей. Она вызывает увеличение дымности отработавших газов и выбросов токсичных веществ.

Сравнительный анализ показал, что наиболее приемлемыми видами альтернативных топлив являются диметиловый эфир, оксигенаты, добавляемые к традиционным нефтяным моторным топливам, биотоплива, водотопливные эмульсии, имеющие необходимые энергетические и эксплуатационные показатели. Применение их способствует снижению токсичных выбросов и улучшению экологических показателей.

Список литературы

1. Бодякина, Т. В. Анализ технологий преобразования возобновляемых источников энергии в моторное топливо / Т.В. Бодякина, П.А. Болоев, Т.П. Гергенова // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 5. – С. 3-6.
2. Болоев, П. А. Моделирование, управление динамических свойств дизеля с наддувом / П. А. Болоев, Т. П. Гергенова, Т. В. Бодякина, А. Е. Немцев // 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. 7-13. – EDN UUNHIT.

3. Варнатц, Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл // М., Физматлит, 2003. – 352 с.

4. Горелик, Г.Б. Водотопливная эмульсия – альтернативное топливо XXI века. Хабаровск, изд. ТОГУ, 2019. – 202 с.

5. Кольцова, Е.С. Современное использование альтернативных топлив для автотранспорта / Е. С. Кольцова, Е. М. Иванникова, В. Г. Систер [и др.]. — Текст : непосредственный // Технические науки: проблемы и перспективы : материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — Санкт-Петербург : Свое издательство, 2015. — С. 88-91.

6. Лашко, В.А. Использование фундаментальной теории управления в практике проектирования проточных частей комбинированных двигателей внутреннего сгорания. Владивосток: Дальнаука, 2009. – 449 с.

7. Лебедев, Б. О. Влияние параметров рабочих процессов судовых дизелей на процессы теплообмена в камерах сгорания / Б. О. Лебедев, С. П. Глушков, В. И. Кочергин // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 1-3(43). – С. 42-46. – EDN TIQYCT.

8. Садов, А. А. Оценка дизельного смесового топлива на основе рицинового масла и биоэтанола / А. А. Садов, Л. В. Денежко // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2021. – № 1(9). – С. 35-42. – EDN ELSWPN.

9. Щестаков, Я. К. Катализатор горения топлива: определение, применение и эффективность / Я. К. Щестаков, А. А. Садов // Молодежь и наука. – 2021. – № 10. – EDN GFTELZ.

10. Фомин, В. М. Анализ технологий переработки альтернативных источников энергии в моторное топливо / В. М. Фомин, Д. В. Апельинский // Известия МГТУ. 2014. №1 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tehnologiy-pererabotki-alternativnyh-istochnikov-energii-v-motornoe-toplivo>.

Сведения об авторах

Болоев Петр Антонович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения. Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова (670000, Россия, Республика Бурятия, Улан-Удэ, тел. 89500801880, e-mail: boloev.pioter.irgsh@yandex.ru).

Бодякина Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры математики инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 89148781789, e-mail: Vodt1981@yandex.ru).

УДК 621.431.73-222.004.67

МЕТОД РЕМОНТА И ШЕРОХОВАТОСТЬ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС

Белоусов И.В., Бураева Г.М., Шистеев А.В.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье описан метод ремонта гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания (ДВС) установкой дополнительного элемента (вставки). Метод позволяет обходиться имеющимся на предприятии технологическим оборудованием и не требует значительных первоначальных затрат на дорогостоящее оборудование, которое окупается только при больших годовых программах восстановления. При выборе и расчете конструктивных параметров соединения «гильза-вставка» необходимо получить решения по следующим вопросам: выбор материала, толщины ленты и подбор необходимого ремонтно-технологического оборудования для получения системы «гильза-вставка»; выбор метода механической обработки, которые обеспечивали бы необходимую шероховатость поверхности и работоспособность соединения «гильза-вставка» до достижения максимально допустимого радиального износа; выбор таких значений радиуса расточки гильзы и соответствующей ему длины заготовки для вставки, которые обеспечивали бы необходимую плотность посадки втулки в гильзе и требуемую величину припуска для финишной обработки зеркала цилиндра и в то же время не приводили бы к перенапряжениям в материале вставки; назначение оптимальных допусков на все размеры соединения, которые (допуски) обеспечивали бы приемлемый уровень вероятности возникновения брака в процессе восстановления и позволяли судить о достаточной степени подгонки вставки и гильзы.

Ключевые слова: технологический процесс, восстановление, гильза цилиндров, вставка, расточка, хонингование, шероховатость.

REPAIR METHOD AND ROUGHNESS OF THE INTERNAL SURFACES OF RESTORED CYLINDER LINERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Belousov I.V., Buraeva G.M., Shisteev A.V.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article describes a method for repairing cylinder liners of internal combustion engines (ICE) by installing an additional element (insert). The method allows you to manage the technological equipment available at the enterprise and does not require significant initial costs for expensive equipment, which pays off only with large annual recovery programs. When selecting and calculating the design parameters of the sleeve-insert connection, it is necessary to obtain solutions on the following issues: the choice of material, tape thickness and selection of the necessary repair and technological equipment to obtain the "sleeve-insert" system; the choice of a machining method that would provide the necessary roughness of the surface and operability of the "sleeve-insert" connection until the maximum permissible radial wear is achieved; the choice of such values of the sleeve boring radius and the corresponding length of the workpiece for insertion, which would provide the necessary fit density of the sleeve in the sleeve and the required amount of allowance for finishing the cylinder mirror and at the same time would not lead to overvoltages in the insert material; the assignment of optimal tolerances for all dimensions of the joint, which (tolerances) would provide an acceptable level of probability of marriage during the restoration process and

allowed us to judge the sufficient degree of fitting of the insert and sleeve.

Keywords: technological process, restoration, cylinder liner, insertion, boring, honing, roughness.

Введение. В процессе эксплуатации гильзы цилиндров ДВС подвержены интенсивному износу внутренней рабочей поверхности. Анализ разных методов восстановления гильз цилиндров автотракторных двигателей показывает, что в условиях ремонтных мастерских предприятий АПК может быть реализован метод постановки ремонтных вставок. Технологический процесс восстановления гильз цилиндров автотракторных дизелей постановкой ремонтных втулок включает следующие операции [3, 7, 10]:

- удаление накипи и коррозионных отложений на наружной поверхности гильзы, зачистка торца гильзы, расточка гильзы;
- рубка ленты на заготовки пластин для втулки;
- изготовление вставки и запрессовка ее в гильзу;
- снятие фаски на торце гильзы, хонингование.

Материалы и методы исследования. Удаление накипи и коррозионных отложений на наружной поверхности гильзы осуществляется на токарно-винторезном станке 1Д62. Базирование гильзы осуществляется по ее верхнему и нижнему посадочным поясам. Расточка гильз производится на алмазно-расточном станке 2Е78П в специальном приспособлении. Диаметр расточки выбирается в зависимости от толщины ленты, которая будет использована для изготовления втулки (таблица 1). Допуск на диаметр расточки гильзы составляет +0,02 мм для всех значений толщины ленты. [10]

Подготовка вставки начинается с резки ленты на заготовки на кривошипном прессе КД 2126Е и сортировке по толщине. Далее у заготовки шлифуют торцевые поверхности и зачищают кромки пластин со снятием фаски $0,2 \times 45^\circ$ на одной длинной стороне шлифовальным кругом на точильно-шлифовальном станке 3К634.

Контроль длины производится с помощью специальной индикаторной скобы с погрешностью не более 0,01 мм. Допуск на длину и на параллельность противоположных сторон - 0,02 мм для всех четырех сторон.

Таблица 1 – Длина заготовки и диаметр расточки гильзы в зависимости от толщины ленты

Толщина ленты, мм	Длина заготовки после отрезка, мм	Длина ленты после шлифования торцов, мм	Диаметр расточки гильзы, мм
0,52	411,00	410,06	130,92
0,53	411,02	410,08	130,94
0,54	411,02	410,11	130,96
0,55	411,04	410,13	130,98
0,56	411,04	410,16	131,00
0,57	411,06	410,19	131,02
0,58	411,06	410,23	131,04
0,59	411,08	410,26	131,06
0,60	411,08	410,29	131,08

Сборка гильзы с вставкой - начинается с радиального обжатия вставки. Для этого подготовленную пластину вручную сгибают до приобретения ею цилиндрической формы и в таком виде вставляют в пресс-форму для радиального обжатия.

Разъемная пресс-форма представляет собой два полукольца, стягиваемых винтом. Внутренний диаметр расточки полуколец на 0,02...0,04 мм меньше диаметра расточки гильзы. При вставке пластины в пресс-форму полукольца раздвинуты. После вставки пластины полукольца стягиваются винтом. Перед окончательным зажимом пресс-формы производится выравнивание по высоте состыкованных концов верхней кромки пластины.

В таком состоянии пресс-форма устанавливается на верхний торец восстанавливаемой гильзы и с помощью пресса ОКС 1671 специальным ступенчатым пуансоном вставка перемещается из пресс-формы в гильзу. После запрессовки вставки снимается внутренняя фаска 2x45° на верхнем ее торце на алмазно-расточном станке 2Е78П.

Результаты исследования и их обсуждение. Среднее значение шероховатости поверхности зеркала цилиндра полученная после расточки пяти гильз и измеренная на профилометре 201 соответствовала: гильза 0,507 мкм, вставка 0,496 мкм. Исходная шероховатость поверхности после расточки должна соответствовать 1,25-0,63 мкм т. к. окончательная шероховатость зеркала цилиндра по ГОСТ 2789-73 (актуализован 2021 г.), должна соответствовать 0,16-0,08 мкм.

После заключительной операции механической обработки – хонингования, выполненной на хонинговальном станке 3Г833 алмазными хонинговальными брусками 12*125 АСБ 250/200 при предварительной обработке и 12*125 АБС 80/63 окончательная чистота внутренней поверхности гильзы в среднем соответствовала значению $R_a = 0,5...1,2$ (контролируется по образцу) [1].

Данные эмпирических исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Опытная шероховатость поверхности расточенных гильз (мкм)

Количество обрабатываемых гильз шт.	1-я повторность		2-я повторность		3-я повторность		Среднее значение	
	вставка	гильза	вставка	гильза	вставка	гильза	вставка	гильза
5	0,332	0,336	0,546	0,650	0,610	0,536	0,496	0,507
10	0,450	0,420	0,406	0,404	0,714	0,714	0,520	0,513
15	0,726	0,690	0,424	0,598	0,314	0,590	0,527	0,625
20	0,500	0,812	0,446	0,700	0,726	1,14	0,558	0,858
25	0,500	1,21	0,638	0,644	0,622	0,927	0,587	0,927
30	0,788	0,928	0,390	0,942	0,630	0,920	0,589	0,930

На графике (рис. 1), построенном на основании табличных данных видно, что

шероховатость поверхности гильз с увеличением их количества также увеличивается и подчиняется закону прямой линии при расточке вставки (кривая 1). При растачивании непосредственно гильзы (кривая 2), шероховатость увеличивается несколько больше, однако при расточке 30 гильз она соответствует 0,930 мкм, что вполне удовлетворяет требованиям ГОСТ 2789-73.

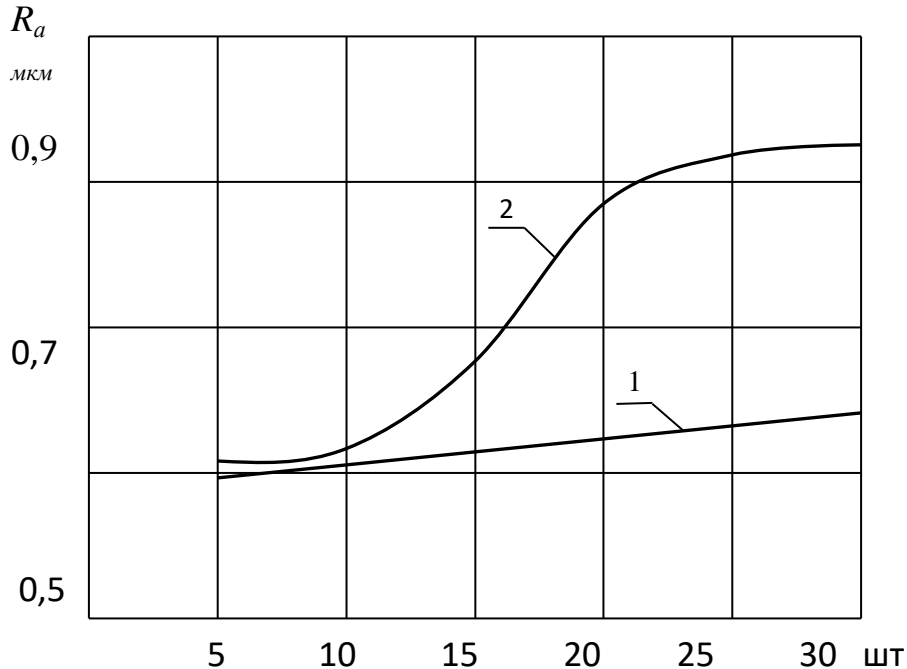


Рисунок 1 – Графическая зависимость R_a от количества обработанных гильз при $P = 257$ м/мин; $S = 0,125$ мм/об; $t = 0,2$ мм;
1 — вставка, 2 — гильза

Заключение. Метод восстановления гильз цилиндров постановкой вставки в сложившихся условиях является предпочтительным в связи с тем, что можно его реализовать на технологическом оборудовании действующих ремонтных предприятий. Шероховатость поверхности зеркала гильзы цилиндров после восстановления позволяет судить о достаточной степени подгонки вставки и гильзы.

Список литературы

1. Бураев М.К. Обеспечение работоспособности автотракторной техники корректированием расхода запасных частей при техническом сервисе / Бураев М.К., Шистеев А.В. // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 3. С. 69–77.
2. Бураев М.К. Оценка износа и годности деталей тракторов [Текст] / М.К. Бураев // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2006.- № 6.- С.13-16.
3. Дамбинов Ю.А. К выбору технологии восстановления гильз цилиндров ДВС / Ю. А. Дамбинов // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 26 ноября 2020 года. п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2020. С. 77-78.
4. Иванов М.С. Эксплуатационные точечные разрушения гильз цилиндров двигателей КАМАЗ / М.С. Иванов, М.К. Бураев // Научные исследования студентов – в практику сельскохозяйственного производства : Материалы научной студенческой

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

конференции 13-15 марта 2007 года. С.31-36.

5. *Меркулов Е.П.* Восстановление гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания термопластическим деформированием. Автореферат канд. дисс. – Челябинск, 2001, 19 с.

6. *Ширай О.Г.* Вероятностная модель расчета параметров восстановления гильзы цилиндра постановкой свертной втулки. Оптимизация и ресурсообеспечение технологических процессов в АПК. Труды КГАУ, вып. 398 (426): Краснодар, КГАУ, 2002, С. 166 – 174.

7. *Юдин М.И.* Организация ремонтно-обслуживающего производства в сельском хозяйстве: Учебник /КГАУ. Краснодар, 2007. 944 с..

8. *Юдин М.И.* Планирование эксперимента и обработка его результатов: Монография. Краснодар: Издательство Кубанского ГАУ, 2004. 240 с.

9. *Юдин М.И.* Технология восстановления посадок соединений деталей постановкой дополнительного элемента / *М.И. Юдин, О.Г. Ширай.* Изд-во КубГАУ, 2005. 92 с.

10. Справочник инженера по техническому сервису машин и оборудования в АПК. М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 604 с.

Сведения об авторах

Бураева Галина Михайловна, аспирант инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89025608844, e-mail: lavaki2009@yandex.ru).

Белюсов Игорь Витальевич, аспирант инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8(3952)237431, e-mail: belousov.65@mail.ru).

Шистеев Алексей Валерьевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины» инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89025608844, e-mail: drive-er@yandex.ru).

УДК 631.33

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ ТРАКТОРА С РЕЗИНОАРМИРОВАННЫМИ ГУСЕНИЦАМИ

Гайнуллин И.А.

ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет
г.Уфа, Республика Башкортостан, Россия

Аннотация. Применение тракторов с резиноармированными гусеницами являются одним из актуальных направлений повышения эффективности механизированных работ. В статье приведены результаты эксплуатационных исследований агрегата на базе гусеничного трактора “Фермер РБ -2103” с оборотным плугом UNLU 7. Результаты исследований могут быть использованы при эксплуатации пахотных агрегатов.

Ключевые слова. трактор, пахотный агрегат, отвальная обработка, производительность, расход топлива, почва.

OPERATIONAL INDICATORS OF THE ARABLE UNIT BASED ON A TRACTOR WITH RUBBER-REINFORCED TRACKS

Ilshat A. Gainullin

FSBEI HE Bashkir State Agrarian University
Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

Abstract. The use of tractors with rubber-reinforced tracks is one of the urgent directions of increasing the efficiency of mechanized work. The article presents the results of operational studies of the unit based on a tracked tractor “Farmer RB - 2103” with a revolving plow UNLU 7. The results of the research can be used in the operation of arable units.

Keywords. tractor, arable unit, dump processing, productivity, fuel consumption, soil.

Современное растениеводство ведется на основе внедрения ресурсосберегающих технологий земледелия, основанным на минимальных и нулевых обработках почвы, использовании широкозахватных скоростных комбинированных посевных комплексов, оборотных плугов и направлены на сохранение и повышение плодородия почвы.

Одной из задач оснащения агропромышленного производства является создание мощных высокопроизводительных машинно-тракторных агрегатов [1-2]. При этом необходимо уделять повышенное внимание по совершенствованию конструкции тракторов в направлении уменьшения металлоемкости и применения движителей с низким давлением на почву [3-6]. В настоящее время в связи с расширением практики использования новых ресурсосберегающих технологий в растениеводстве, с увеличением скорости и ширины захвата машинно-тракторных агрегатов, возросли мощности и массы машинно-тракторных агрегатов. В связи с этим применение тракторов движителями с резиноармированными гусеницами являются актуальными [7-11].

Целью исследований является оценить эксплуатационно-технологические показатели пахотного агрегата на базе трактора “Фермер РБ -2103” с резиноармированного гусеницами (рис.1).

Материалы и методы. Эксплуатационные испытания проводились в соответствии с ГОСТ Р 52778-2007 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки.



Рис. 1. Испытания пахотного агрегата (трактор “Фермер РБ -2103” + UNLU 7)

Объект исследований – процесс работы трактора “Фермер РБ -2103” с резиноармированными гусеницами с оборотным плугом UNLU 7. Технические характеристики гусеничного трактора “Фермер РБ -2103” представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики трактора “Фермер РБ -2103”

№ п/п	Наименование параметра	Единица	Значение
1	Тяговый класс	тс	4
2	Номинальное тяговое усилие	кН	40
3	Скорость движения переднего хода	км/ч	3,08-26,12
4	Число передач (передний/задний)	шт	16/8
5	Марка двигателя	-	Д 260.4
6	Мощность двигателя	кВт (л.с)	156 (212,1)
7	Номинальная частота дизеля	мин ⁻¹	2100
8	Масса	кг	12000±200
9	Ширина резиноармированной гусеницы	мм	500
10	Среднее давление на почву	кПа	46,0
11	База	мм	2300
12	Дорожный просвет	мм	320

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

Результаты и обсуждение. Лабораторно - полевые опыты проводились на полях ООО «СП Базы» Чекмагушевском районе Республики Башкортостан. Поле, подготовленное для проведения испытаний, было очищено от соломы. Характеристики поля: тип почвы – чернозем типичный карбонатный, среднесуглинистый механический состав; рельеф – ровный; высота стерни, см до 10 см; предшествующая культура- озимая пшеница. Производительности за один час основного и сменного времени определялась методом хронометрирования.

При выборе скорости движения агрегата и глубины обработки учитывали агротехнические требования. Изменения плотности и твердости почвы определяли на глубине до 30 см. Влажность почвы при этом составил в пределах 14,3...16,5 %. Результаты эксплуатационных испытаний при влажности почвы $W=14...17\%$, твердости почвы 0,28..0,45 МПа и плотности почвы 1,2...1,35 г/см³ представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты эксплуатационных испытаний

№ п/п	Показатели	“Фермер РБ -2103” + UNLU 7
1	Частота вращения коленчатого вала дизеля, мин ⁻¹	1800...1900
2	Скорость рабочего хода, км/ч	7,0...8,0
3	Рабочая ширина захвата, м	2,45
4	Глубина обработки, см	30±1
5	Производительность за 1 час основного времени, га/ ч	1,40...1,57
6	Сменная производительность, га	11,2...12,56
7	Коэффициент сменности	1,0
8	Удельный расход топлива на один гектар обработанного поля, кг/га	19,7...22,8
9	Гребнистость поверхности поля после вспашки, см	4,8
10	Глыбистость и крошение, % комки размером более 100 мм комки размером 50-100 мм комки размером 0-50 мм	5,2 13,1 81,7

Анализируя результаты испытаний, можно отметить, что производительность агрегата за один час основного времени составил 1,4...1,57 га/ч при работе трактора с плугом UNLU 7 при длине гона 1300 ...1500 м. Производительность агрегата повышается за счет снижения времени поворота в конце гона. Частота вращения дизеля находился в пределах 1800...1900 мин⁻¹. Торсионная подвеска обеспечивает плавное движение трактора по пересеченной местности. Торсионная подвеска, балансирующая, включает в себя по две двухбалансирные и по одной однобалансирной каретке с торсионами на борт. На двухбалансирных каретках установлено по одному гидроамортизатору для гашения колебаний. Пять опорных катков на борт позволяет снизить давление и уплотнение почвы. Показатели качества (гребнистость, глыбистость и крошение) технологического процесса при обработке на стерне соответствуют по основным агротехническим требованиям.

Таким образом, применение тракторов движителями с резиноармированными гусеницами и с оборотным плугом являются одним из перспективных направлений повышения эффективности полевых работ агропромышленного производства. Полученные результаты могут быть применены при обосновании параметров машинно-тракторных агрегатов.

Список литературы

1. Гайнуллин И.А., Хисаметдинов Р.Р., Ефимов А.В. Эффективность работы посевных комбинированных агрегатов / Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 3. – С. 10-12.
2. Русинов А.В., Слюсаренко В.В., Русинов Д.А. Повышение безопасности применения МТА на базе энергонасыщенных тракторов / Наука и образование. 2020. Т. 3. № 4. С. 90.
3. Гайнуллин И.А., Зайнуллин А.Р. Улучшение энергетических и экологических показателей гусеничного движителя трактора Т-170М1.03-55 / Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. №2. С. 69– 72.
4. Чернышев Н.И., Сысоев О.Е., Киселев Е.П. Инновационный базовый робототехнический механизм для реализации точного земледелия / Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 69-73.
5. Исследование влияния расположения опорных катков гусеничной тележки (эллипсный обвод) на тягово-динамические показатели трактора Б 10.01.01.7В (Т-170М1.03-53): Отчет о НИР / Отв. исп. И.А. Гайнуллин. Челябинск, 2001. Арх. № 148. 63 с.
6. Беховых, Ю.В. Влияние внешнего давления на плотность почвы/ Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 1-3 (52). С. 9-11.
7. Гайнуллин И.А. Снижение уплотняющего воздействия гусеничного трактора на почву: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01: защищена 19.04.02: утв. 06.09.02 / Гайнуллин Ильшат Анварович – Челябинск, 2002. – 159 с.
8. Бухаровская, А.Н. Тягово-цепные свойства и уплотняющее воздействие на почву трактора с резиноармированными гусеницами: автореферат дис. ... канд. техн. наук. - М., 2011. 20 с.
9. Ксенович И.П., Русанов В.А. Проблема воздействия движителей на почву: некоторые результаты исследований / Тракторы и сельскохозяйственные машины. -2000.-№ 1. - С. 15-20.
10. Mudarisov S., Gainullin I., Gabitov I., Hasanov E., Farhutdinov I. Soil compaction management: reduce soil compaction using a chain-track tractor. Journal of Terramechanics. 2020. Т. 89. С. 1-12. - doi: 10.1016/j.jterra.2020.02.002.
11. Mudarisov S., Gainullin I., Gabitov I., Khasanov E. Improvement of traction indicators of a track-chain tractor // Komunikacie. 2020. Т. 22. № 3. С. 89-102. - doi: 10.26552/com.c.2020.3.89-102.

Сведения об авторе

Гайнуллин Ильшат Анварович - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет (450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34., gainullin_ia@mail.ru).

УДК 631.3

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Клёшина В.И., Клёшин Н.Н., Бураев М.К.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье приводятся сравнительные статистические данные технологии заготовки грубых и сочных кормов в Иркутской области. Отмечено, что на качество кормов существенное влияние оказывают технические характеристики кормозаготовительных машин и оборудования, фазы развития растений, сроки заготовки кормов и способы его консервации (в упаковке или без таковой). Связь таких параметров в кормозаготовительном процессе как: влажность заготавливаемого корма, его чистота, степень измельчения, тщательность трамбовки или плотность прессования, герметичность укрытия и т.д., влияющих на качество, сохранность и поедаемость корма животными должна обеспечить заготовку высококачественного корма с достаточным содержанием питательных веществ, витаминов и макроэлементов. Сравнительный анализ технологий заготовки прессованного сена, силоса и сенажа в траншею, а также силоса и сенажа в упаковке показал, что процессы заготовки разного вида корма в основном схожи по набору техники и оборудования, и виду выполняемой работы. Поэтому, с одной стороны, машины могут иметь общие требования по регулировкам рабочих органов, а с другой – эти же машины имеют разные показатели сложности и трудоемкости а, следовательно, и эффективности кормозаготовительного процесса.

Ключевые слова: кормозаготовка, сено, силос, сенаж, машины, технологии, упаковка, консервация.

ANALYSIS OF EXISTING TECHNOLOGIES FOR FORAGE HARVESTING IN THE IRKUTSK REGION

Kleshina V.I., Kleshin N.N., Buraev M.K.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article presents comparative statistical data on the technology of harvesting coarse and juicy fodder in the Irkutsk region. It is noted that the quality of feed is significantly influenced by the technical characteristics of forage harvesting machines and equipment, the phases of plant development, the timing of forage harvesting and methods of its preservation (in packaging or without it). The connection of these parameters in the forage harvesting process should ensure a sufficient amount of nutrients, humidity, degree of grinding, thoroughness of ramming, tightness of the shelter, etc. A comparative analysis of technologies for harvesting pressed hay, silage and haylage in a trench, as well as silage and haylage in packaging showed that the processes of harvesting different types of feed are basically similar in terms of the set of machinery and equipment and the type of work performed. Therefore, on the one hand, machines may have general requirements for the regulation of working bodies, and on the other hand, they have different indicators of complexity and labor intensity and, consequently, the efficiency of the forage harvesting process.

Keywords: forage harvesting, hay, silage, haylage, machines, technologies, packaging, conservation.

Введение. В Иркутской области по состоянию на 2022 год насчитывается 76 сельскохозяйственных предприятий занимающихся производством мясной

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

продукции, 60 предприятий, занимающихся производством молочной продукции, 26 племенных организаций, 31 656 головы КРС, из них 25 341 головы – молочные коровы. Данные по поголовью КРС в Иркутской области с 2019 года приведены в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Данные по поголовью КРС в Иркутской области

КРС \ Год	2019	2020	2021	2022
Всего голов КРС	30 009	30 199	30 809	31 656
В т.ч. молочные коровы	24 717	24 889	24 976	25 341
Прирост «+»/убывание «-» по сравнению с началом отчетного периода				+1647 голов КРС всего
				Из них +624 молочных коров

Ежегодно, хозяйствами области заготавливается более 700 тыс. т грубого и сочного корма: сено, сенаж, силос (Таблица 2) [5].

Таблица 2 – Данные по заготовке грубых и сочных кормов в Иркутской области с 2019 г

Вид корма \ Год	2019	2020	2021	2022
Сено, т	228 876,0	244 772,0	258 646,3	167 343,6
Сенаж, т	308 278,0	304 918,0	339 285,7	345 597,0
В т.ч. сенаж в упаковке, т	9868,0	10942,0	9622,8	3943,0
Силос, т	225 022,0	276 190,0	200 750,0	197 524,0
Всего заготовлено грубых и сочных кормов на 1 усл. гол. в ц.к.ед.	22,6	24	21,5	18

Таким образом, анализируя статистические данные по приросту поголовья КРС и по объемам кормозаготовки в Иркутской области можно сделать вывод, что в 2022 году план по заготовке кормов выполнен с дефицитом в 20,7 % от среднего объема заготовленных кормов за три года с 2019 по 2021 годы.

Основные причины образовавшегося дефицита кормов в 2022 году – это сложные погодные условия в регионе [6]: малое количество солнечных дней, обилие осадков и непроизводительное использование кормозаготовительных машин.

Цель работы: Проанализировать существующие технологии заготовки кормов в регионе и дать им сравнительную оценку.

Условия и методы исследования. Формирование базы данных для сравнительного анализа технологий заготовки разного вида корма проводилось на основе изучения и обобщения информации из открытых источников, посвященных вопросам заготовки грубых и сочных кормов в Иркутской области. Были использованы статистические данные регионального Министерства сельского хозяйства, оценки компетентных в этой области специалистов, а также собственные данные наблюдений.

Основными кормозаготовительными технологиями в Иркутской области являются заготовка прессованного сена, заготовка силоса и сенажа с укладкой в траншею, а также заготовка силоса и сенажа в специальной упаковке. Результат этих технологий зависит от степени выполнения зоотехнических требований к качеству корма, его питательности, поедаемости и т.п., которые в свою очередь

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

определяются агротехнологическими факторами. Так по данным [1,2,7,9,10] использование данных технологий обеспечивает питательность кормов в кормовых единицах соответственно 0,42-0,54; 0,16-0,32; 0,33-0,35 (Таблица 3).

Таблица 3 - Питательность кормов (из расчета на 1 кг корма)

Наименование технологии заготовки корма	кормовых единиц	перевариваемого протеина, г	сахар, г	кальций, г	фосфор, г	каротин, г
Заготовка сена	0,42-0,54	46-118	22-42	6-18,6	0,9-3,1	10-30
Заготовка силоса и сенажа с укладкой в траншею	0,16-0,32	13-24	2	1,4-3,5	0,5-1,9	10-15
Заготовка сенажа в специальной упаковке	0,33-0,35	32-45	12-18	4,2-4,5	1,1-1,2	30-32

Из таблицы 3 следует, что сенаж в упаковке содержит практически в два раза больше кормовых единиц, чем силос, обогащает рацион животных сахаром, тем самым компенсирует недостатки углеводного питания. Питательность сена напрямую зависит от набора растений, времени заготовки, условий сушки и хранения сырья. Качество силоса, так же как и качество сенажа, определяется степенью силосуемости растений, временем уборки, фазой вегетации растений, соблюдением сроков закладки зеленой массы в хранилище и ее влажностью, степенью измельчения, тщательностью трамбовки и герметичности укрытия (последние факторы учитываются при заготовке кормов в яму)[1,2,9,10].

Рассматриваемые технологии позволяют сельскохозяйственным предприятиям Иркутской области ежегодно заготавливать более 200 тыс. т прессованного сена и более 500 тыс. т сочного корма в виде силоса и сенажа, в т.ч. в упаковке. Технологические процессы заготовки кормов [3,8] представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технологические схемы заготовки кормов

Вид корма	Заготовка сена	Заготовка силоса и сенажа с укладкой в траншею	Заготовка сенажа в специальной упаковке
	Кошение с укладкой травостоя в прокос		
	С плющением стеблей	без плющения стеблей	
	Ворошение с переворачиванием скошенной массы (1-2 раза) для сена – начинать с влажности 60-55 %		
	Сгребание провяленной массы из прокосов в валки		
	при влажности 45-55 %	при влажности 55-60 % для сенажа, и 60-70 % для силоса	
	Ворошение валков	-	-
	Подбор провяленной массы при влажности не более 20 % с прессованием в тюки или рулоны	Подбор провяленной массы с измельчением и погрузкой в транспортное средство	Подбор и прессование в рулоны провяленной массы
	Погрузка тюков или рулонов в транспортное средство и доставка их к месту складирования	Доставка измельченной массы к кормохранилищу	Погрузка и доставка рулонов к месту упаковки и хранения (для высокопитательного корма не позднее 12 ч с момента скашивания)
	-	Разравнивание и трамбование массы в траншее	-

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

	Укладка тюков и рулонов на хранение	-	Разгрузка и упаковка рулонов (в линию или индивидуальную упаковку) в агрострейтч пленку с добавлением или без добавления консервантов
	-	Герметизация от доступа воздуха заложенной в хранилище провяленной травы (не позднее 3-4 суток от начала заполнения)	-
	Проверка состояния сена и устранение порченных участков в процессе всего периода хранения	Периодическая проверка герметичности укрытия в процессе хранения и устранение обнаруженных повреждений	Периодическая проверка герметичности упаковки в процессе хранения и устранение обнаруженных повреждений

Рассмотренные технологические процессы заготовки разного вида корма схожи по набору техники и оборудования, таким образом можно выделить обобщенные требования и регулируемые параметры [1,2,7,8,9,10], применяемые к технике по виду выполняемой работы (Таблица 5).

Таблица 5 – Требования к кормоуборочной технике по видам работ

Наименование машин	Вид работы	Основные технологические требования (регулируемые параметры)
Косилка (косилки сегментно-пальцевые, дисковые, кормоуборочные комбайны)	Кошение	Травы следует скашивать без огрехов и пропусков. Высота скашивания естественных трав: 4—5 см, сеяных — 7—8 см. Косилки должны обеспечивать заданную высоту скашивания, срезать растения без разрыва и теребления. Высота скашивания высокостебельных культур при заготовке силоса должна составлять 10 см с допустимым отклонением ± 1 см. Потери зеленой массы не должны превышать 3%, степень измельчения до 30 мм, (кукуруза до 10...15 мм)
Косилка-плющилка (вальцы/вспушиватель)	Кошение с плющением, вспушивание	Косилки должны обеспечивать заданную высоту скашивания, срезать растения без разрыва и теребления. повреждение стеблей растений для сокращения времени сушки массы на 25%
Грабли, ворошилки	Сгребание, ворошение	При ворошении скошенная масса должна быть хорошо взрыхленной, а при сгребании не допускается образование куч. Потери при сгребании не должны превышать 2,5%, а при подборе — 2%. Загрязненность землей не допускается. Грабли должны переворачивать валок на 180°, регулируется ширина вала в зависимости от плотности травостоя
Пресс-подборщик	Прессование	Для заготовки сенажа в упаковке должна обеспечиваться высокая плотность прессования (от 300кг/м ³ и выше), формирование рулона правильной формы
Погрузчики	Погрузка	Во время погрузки и подачи рулонов на упаковщик не должно оставаться больших воздушных камер внутри рулона, погрузка упакованных рулонов должна производиться без повреждения упаковки.
Транспортные машины	Перевозка	Количество машин должно соответствовать производительности машин работающих в поле на заготовке кормов и удаленности их от места складирования, для

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

		исключения простоев техник.
Энергонасыщенные тракторы с навесным оборудованием (для трамбовки), обмотчики рулонов	Закладка на хранение	Потребность в тракторах для уплотнения одной тонны зеленой массы возрастает с увеличением содержания в ней сухого вещества и увеличения длины резки. В среднем на одну траншею объёмом 3-4 тыс. тонн требуется 2 единицы: трамбовщик и разравниватель. Для закладки на хранение сенажа в упаковке в линию, с использованием скоростного обмотчика рулонов, регулируется размер камеры упаковщика под диаметр упаковываемого рулона (от 100 до 160 см)
	Консервация	Консервация травяной массы в яме или в упаковке с добавлением консервантов или без них. Количество слоев пленки на рулоне должно быть не менее 5-7 Герметизация ямы.

Сравнительная оценка рассматриваемых технологий заготовки кормов осуществлялась по критериям уровня требований к площадке для хранения, необходимости приобретения энергонасыщенной техники, необходимости приобретения специального оборудования и особых требований к оборудованию и машинам [2,3,4,9].

Таблица 6 – Сравнительная оценка технологий заготовки кормов

Параметр	Требование к площадке для хранения	Необходимость приобретения энергонасыщенной техники	Необходимость приобретения специального оборудования	Особые требования к оборудованию и машинам
Вид корма				
Сено	-	-	-	-
Силос/сенаж в яме	наличие ямы	+	-	Производительные косилки или комбайны с измельчением
Сенаж/силос в упаковке	-	-	+ (упаковщики рулонов+агрострейтч пленка+ сетка для пресс-подборщиков)	Производительные косилки с плущением, плотнопакующие пресс-подборщики, обмотка рулонов в сетку

Анализируя данные из таблиц 4-6 следует отметить, что процесс заготовки сена, самый неэнергоёмкий и нетребовательный к уровню технической оснащённости хозяйства и к условиям хранения кормов, но по питательной ценности сено сильно уступает силосу и сенажу.

Заготовка сенажа и силоса в яму – энергоёмкая и длительная по времени технология, требующая применения тяжелых тракторов для качественной трамбовки закладываемой на хранение массы.

Заготовка сенажа и силоса в упаковке подразумевает наличие в хозяйстве, помимо производительных косилок-плющилок, пресс-подборщиков с высокой плотностью прессования и обмоткой рулона в сетку, приобретение дополнительного оборудования (упаковщиков) и агрострейтч плёнки) для упаковки рулонов. При этом не требуется наличие в хозяйстве энергоёмких тракторов и дорогостоящих кормозаготовительных комбайнов.

Следует отметить, что при заготовке сенажа в упаковку в случае возникновения непредвиденных обстоятельств (осадков, неисправности техники и других возможных причин) останавливающих процесс заготовки на продолжительный срок, скошенную ранее травяную массу можно заготовить в виде сена [3].

Таким образом, кормозаготовка с упаковкой в агрострейтч пленку является перспективной для хозяйств Иркутской области имеющих минимальный набор техники, и может гарантировать заготовку высококлассного, качественного корма в необходимых объемах, в сжатые сроки в экстремальных погодных условиях [3].

Вывод. Проведенный анализ существующих технологий заготовки кормов в Иркутской области показал, что рассмотренные технологические процессы заготовки разного вида корма схожи по проводимым операциям и набору техники, и оборудования. Процесс заготовки сенажа в упаковке является перспективным направлением заготовки кормов для большинства хозяйств Иркутской области из-за высокой питательности и содержания витаминов, минимальных требований к машинно-тракторному парку хозяйства и местам складирования.

Список литературы

1. Гендерсон Г., Ривз П. Кормление и содержание молочного скота. /Под ред. Яковлева А.А. – 1957 – 395 с.
2. Кавардаков В.Я., Кайдалов А.Ф., Бараников А.И., Коссе Г.И.. Корма и кормовые добавки: Учебно-методическое и справочное пособие/Серия «Высшее образование» - Ростов-на-Дону, 2007 – 512 с.
3. Клешина, В. И. Техника и технологии заготовки сенажа в линию в хозяйствах Иркутской области / В. И. Клешина, Н. Н. Клешин, М. К. Бураев // 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. 22-28. – EDN JLLHCW.
4. Комаревич Л.В. Введение в теорию надежности сложных технических систем: учеб. пособие / Л.В. Комаревич. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1995. – 80 с.
5. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Иркутской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://irkobl.ru/sites/agroline/Operativka/>, свободный.
6. Официальный сайт МЧС России Главное Управление по Иркутской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://38.mchs.gov.ru/>, свободный.

7. Пахомов И.Я., Разумовский Н.П.. Полноценное кормление высокопродуктивных коров: Справочное пособие - Витебск.- УО ВГАВМ, 2006 –108 с.
8. Тюльдюков В.А., Кобозев И.В., Парахин Н.В. Технология заготовки и хранения кормов: учеб.пособие/ Тюльдюков В.А. – Орел, 1995 – 140с.
9. Фаритов Т.А. Ф 24 Корма и кормовые добавки для животных: / Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2010 – 304 с.
10. Ю.А. Победнов, В.М. Косолапов, В.А. Бондарев, Ю.Д. Ахламов; А.А. Мамаев, В.П. Клименко, С.А. Отрошко; А.В. Шевцов. Силосование и сенажирование кормов: Рекомендации — М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2012.- 22 с.

Сведения об авторах

Клёшина Вероника Игоревна – аспирант 1 года обучения, кафедра технического сервиса и общеинженерных дисциплин инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. +79246050318, e-mail: terrion38.1@mail.ru).

Клёшин Николай Николаевич – аспирант 1 года обучения, кафедра технического сервиса и общеинженерных дисциплин инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. +79246050319, e-mail: terrion38.1@mail.ru).

Бураев Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. +79500904493, e-mail: buraev@mail.ru).

УДК 631.356.4:658.562

КИНЕМАТИКА КЛУБНЯ ПРИ СОУДАРЕНИИ С ПРУТКОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Коваливнич В.Д., Кузьмин А.В.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье освещен ряд вопросов, касающихся кинематике процессов соударения клубней при их движении внутри технического средства. В настоящее время уделяется внимание отечественному сельскому хозяйству, например, селекции картофеля. Иркутский ГАУ имеет наработанный исходный селекционный материал, пригодный для выведения высокопродуктивных сортов картофеля, адаптированных к условиям Иркутской области. Отбираются и изучаются новые гибриды картофеля; оцениваются семьи в питомнике сеянцев; изучаются в селекционных питомниках новые клоны картофеля. Но почти все работы в селекционно-семеноводческом процессе в картофелеводстве проводятся вручную с большими затратами труда, например, до 833, 3 чел. - час в расчете на 1 га на уборке. Поэтому нужны разработки различных технических средств для механизации и автоматизации процессов. Таким образом, разработка нами технического средства для оценки клубней на устойчивость к механическим повреждениям актуальна. В данной статье приводится процесс взаимодействия клубней с прутками внутренней поверхности устройства. Рассмотрена траектория соударения клубня с прутками, при чем возможны три случая: 1) удар об один пруток в горизонтальной плоскости; 2) удар об один пруток в вертикальной плоскости; 3) удар одновременно о два прутка. Для каждого варианта выведены необходимые уравнения и вычислены результаты. Приведены коэффициенты сопротивления движению клубня по наклонной площадке, определенные экспериментальным путем. В конечном итоге, из приведенных расчетов следует, что линейная скорость отскока клубня после удара 1,71 - 1,84 м/с, что соответствует реальному уровню скоростей соударения клубней с рабочими органами уборочных машин. Также определены рациональные конструкционные размеры нашего технического средства

Ключевые слова: селекция, клубень, кинематические параметры, технические средства.

KINEMATIC CHARACTERISTICS OF THE TUBER DURING TESTS

Kovalivnich V.D., Kuzmin A.V.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article highlights a number of issues related to the kinematics of the processes of collision of tubers during their movement inside the technical means. Currently, attention is being paid to domestic agriculture, for example, potato breeding. The Irkutsk State Agricultural University has a developed initial breeding material suitable for the production of highly productive potato varieties adapted to the conditions of the Irkutsk region. New potato hybrids are selected and studied; families in the seedling nursery are evaluated; new potato clones are studied in breeding nurseries. But almost all the work in the selection and seed-growing process in potato growing is carried out manually with great labor costs, for example, up to 833.3 people per hour per 1 ha on harvesting. Therefore, we need to develop various technical means for the mechanization and automation of processes. Thus, our development of a technical tool for assessing tubers for resistance to mechanical damage is relevant. This article describes the process of interaction of tubers with rods of the inner surface of the device. The trajectory of the collision of the tuber with the rods is considered, with three possible cases: 1) impact on one bar in the horizontal plane; 2) impact on one bar in the vertical plane; 3) impact simultaneously on two bars. For each variant, the

necessary equations are derived and the results are calculated. The coefficients of resistance to the movement of the tuber on an inclined platform, determined experimentally, are given. In the end, it follows from the above calculations that the linear velocity of the tuber rebound after impact is 1.71 - 1.84 m/s, which corresponds to the real level of speeds of collision of tubers with the working bodies of harvesting machines. The rational structural dimensions of our technical means have also been determined.

Keywords: selection, tuber, kinematic parameters, technical means.

Введение. В Российской Федерации в настоящее время наступил благоприятный период для развития сельского хозяйства в свете с происходящими событиями на Украине и международной политикой, появилась потребность усиленно развивать многие отрасли [1], например, картофелеводство, в частности, развивается селекция сортов. Кроме того, существует определенный интерес для изучения и внедрения различных элементов технологий выращивания картофеля для повышения урожайности, например, предлагается рассмотреть варианты различных внекорневых обработок [2] Иркутский ГАУ имеет наработанный исходный селекционный материал, пригодный для выведения высокопродуктивных сортов картофеля, адаптированных к условиям Иркутской области: отбираются и изучаются новые гибридные комбинации картофеля; оцениваются семьи в питомнике сеянцев; изучаются в селекционных питомниках новые клоны картофеля, отобранные из питомника одноклубневок. Также в Прибайкалье большое внимание уделяется вопросам экологии, в том числе и в картофелеводстве [3].

Но все работы в селекционно-семеноводческом процессе в картофелеводстве отличаются большой трудоемкостью (на уборке до 833,3 чел. - час в расчете на 1 га по данным ВНИИКХ) и проводятся, в основном, вручную. Поэтому необходимы разработки технических средств для механизации и автоматизации различных процессов. Таким образом, разработка нами технического средства для оценки клубней на устойчивость к механическим повреждениям актуальна.

Разработаны были несколько подобных технических средств [4,5,6,7,8]. Параллельно продолжается изучение процесса повреждаемости клубней и совершенствование конструкции уборочных машин [9,10].

Цель данной статьи – изучение особенностей взаимодействия клубня с внутренней прутковой поверхностью разрабатываемого технического средства.

Материалы и методы. В статье использованы математические расчеты кинематических параметров технического средства и различные методы: экономико-статистический, абстрактно-логический.

Результаты и обсуждение. Итак, представим процесс взаимодействия клубня с отдельными прутками внутренней поверхности нашего устройства. Например, клубень падает с наклонной площадки и ударяется с внутренней поверхностью установки (рисунок 1).

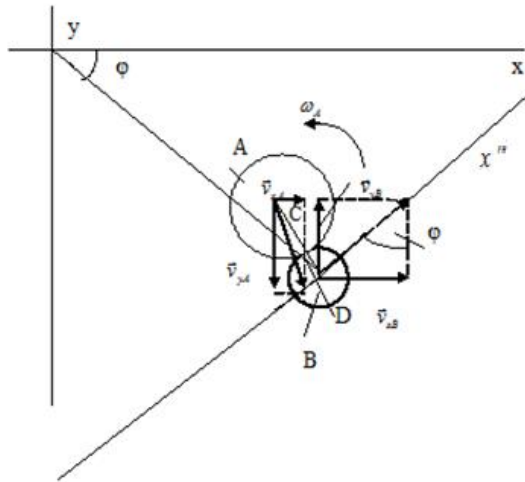


Рисунок 1 – Соударение клубня с прутком внутренней поверхности технического средства

Тогда S_x и S_y составляющие ударного импульса, параллельных осям координат для клубня (тело А) и прутка внутренней поверхности технического средства (тело В), а также моменты количества движения запишутся в виде:

$$\begin{aligned} S_y &= m_A (v'_{yA} - v_{yA}); & I_A (\omega'_A - \omega_A) &= -S_x y_C + S_y x_C \\ -S_y &= m_B (v'_{yB} - v_{yB}); & I_B (\omega'_B - \omega_B) &= -S_x y_D - S_y x_D \\ S_x &= m_A (v'_{xA} - v_{xA}); & V'_A - V'_B &= -k(V_A - V_B) \\ -S_x &= m_B (v'_{xB} - v_{xB}); & |S_x| &\leq f S_y \end{aligned} \quad (1)$$

где: m_A - масса клубня, кг;

m_B - масса технического средства, кг;

I_A ; I_B - моменты инерции клубня и прутка;

$\omega_A, \omega_B, \omega'_A, \omega'_B$ - угловые скорости клубня и прутка до и после удара соответственно;

V'_A, V'_B, V_A, V_B - скорости точек ударного контакта.

Из системы уравнений (1) следует:

$$\begin{aligned} v'_{yA} &= \frac{S_y}{m_A} + v_{yA}, & v'_{xA} &= \frac{f S_y}{m_A} + v_{xA}, & v'_{yB} &= \frac{-S_y}{m_B} + v_{yB}, & v'_{xB} &= -f \frac{S_y}{m_B} + v_{xB}, \\ S_x &\leq f S_y, & \omega'_A &= \frac{S_y}{I_A} (x_C - f y_C) + \omega_A \end{aligned} \quad (2)$$

При соударении клубня с прутком внутренней поверхности технического средства возможны три случая: 1) удар об один пруток в горизонтальной плоскости; 2) удар об один пруток в вертикальной плоскости; 3) удар одновременно о два прутка (рисунок 2).

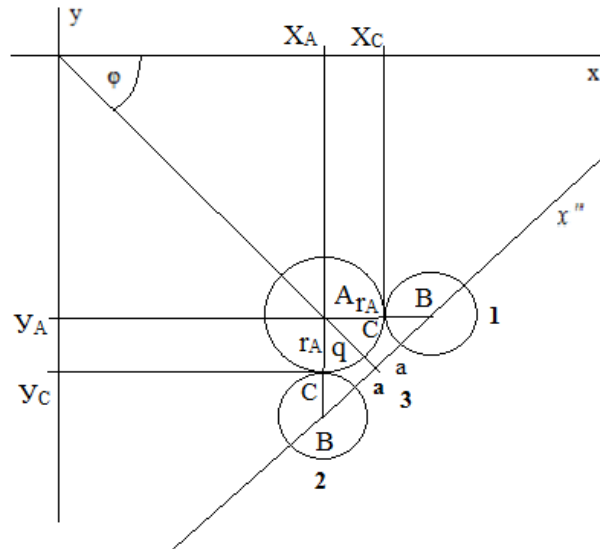


Рисунок 2 – Варианты соударения клубня с прутком технического средства: 1 – горизонтальный удар; 2 – вертикальный удар; 3 – одновременный удар о два прутка

В первом случае при ударе в горизонтальной плоскости (рисунок 2).
имеем:

$$S_y = \frac{(1+k)(v_{yB} - v_{yA} - \omega_A \cdot r_A) \cdot m_A \cdot m_B}{m_A + m_B},$$

$$\omega'_A = \omega_A + \frac{S_y}{I_A} (x_C - f y_C),$$
(3)

где:

$$x_C = x - r_B,$$

$$y_C = y - r_B.$$

Во втором случае, когда удар вертикальный мы получим:

$$S_y = \frac{(1+k)(v_{yB} - v_{yA}) \cdot m_A \cdot m_B}{m_A + m_B},$$

$$\omega'_A = 0.$$
(4)

В третьем случае (при одновременном ударе о два прутка):

$$S_y = \frac{(1+k)(v_{yB} - v_{yA} - \omega_A \cdot r_A \cos \delta) m_A \cdot m_B}{m_A + m_B},$$

$$\omega'_A = \omega_A + \frac{S_y}{I_A} (x_C - f y_C),$$
(5)

где:

$$\begin{aligned}x_C &= (x - q \cos \varphi) + r_A \cos \delta, \\y_C &= (y - q \cos \varphi) + r_A \sin \delta, \\ \delta &= \varphi - \theta, \quad \varphi = \arccos\left(\frac{x}{R}\right), \\ \theta &= \arctg\left(\frac{a}{q}\right), \quad q = \sqrt{(r_A + r_B)^2 - a^2}, \\ a &= \frac{t}{2},\end{aligned}$$

t – шаг прутков, м.

Тогда, учитывая коэффициент сопротивления движению клубня по наклонной площадке f , мы получили следующие данные: при $f = 0,6745$ (минимальном, найденным экспериментальным путем) в случае горизонтального удара линейная скорость отскока клубня после удара 1,71 м/с, а угловая скорость клубня после отскока 1,67 с⁻¹; в случае вертикального удара угловая скорость после отскока 1,16 с⁻¹; в случае же одновременного удара о два прутка угловая скорость после отскока 0 с⁻¹.

При максимальном коэффициенте сопротивления движению клубня $f = 1,88073$ в случае горизонтального удара линейная скорость отскока клубня после удара 1,84 м/с, а угловая скорость клубня после отскока 3,89 с⁻¹; в случае вертикального удара угловая скорость после отскока 4,1 с⁻¹; в случае же одновременного удара о два прутка угловая скорость после отскока 0 с⁻¹.

Следовательно, решая приведенные выше уравнения можно определить кинематические параметры клубней, на основании чего установить рациональные размеры и режимы работы разрабатываемого нами технического средства. Исходя из анализа представленных расчетов, можно отметить, что линейные скорости клубней соответствуют уровню скоростей соударения клубней с рабочими органами, имеющих место в реальных стандартных уборочных машинах: 0,512 – 4,5 м/с (по данным Н.И. Верещагина [10]).

Выводы. Итак, анализируя наши уравнения, мы пришли к заключению:

- линейная скорость отскока клубня после удара 1,71 - 1,84 м/с, что соответствует уровню скоростей соударения клубней с рабочими органами, имеющих место в реальных стандартных уборочных машинах;
- конструкционные параметры нашего технического средства должны быть: радиус 400 мм; ширина лопасти 140 мм; длина наклонной площадки 370 мм; шаг прутков 42 мм; угловая скорость 0,25 с⁻¹.

Список литературы

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_223631/5223937f0c160937f22f0fc39f33770fe3f0674b
2. Старовойтова О.А. Выращивание картофеля и топинамбура с применением микроэлементов. / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А.А. Манохина, В.А. Чайка. “Научно-практический журнал “Вестник ИрГСХА”.- 2022; выпуск 1 (108). – С. 41 – 52.

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

3. *Дмитриев Н.Н. и др.* Становление и развитие научной школы агроэкологии Предбайкалья./ *Н.Н. Дмитриев А. А. Мартемьянова, Р.В. Замащиков, Е.Ш. Дмитриева.* Научно-практический журнал "Вестник ИрГСХА". 2021; выпуск 5(106). – С. 29-41.
4. *Машины и оборудование для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве картофеля:* Каталог / *Б.О. Кузьмин, В.Н. Зернов, П.Б. Кузьмин, И.П. Вялов, Т.А. Фурина.* – М.: ЦНТИПР, 1988.
5. *Устройство для определения повреждаемости корнеплодов* [Текст]: пат. 2073228 Российская Федерация, МПК G 01 N 3/32. / *А.В. Кузьмин [и др.];* заявитель и патентообладатель Бурятская государственная сельскохозяйственная академия – ФГОУ – ВПО. -№ 93038831/15; заявл. 27.07.93; опубл. 10.02.97, Бюл. №4. – 3 с.
6. *Имитатор повреждения клубней* [Текст]: пат. 2110057 Российская Федерация, МПК G 01 N 3/32. / *А.В. Кузьмин [и др.];* заявитель и патентообладатель Бурятская государственная сельскохозяйственная академия – ФГОУ – ВПО. -№ 95121255/13; заявл. 05.12.95; опубл. 27.04.98, Бюл. №12. – 3 с.
7. *Определитель повреждаемости клубней* [Текст]: пат. 2321851 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/02. / *А.В. Кузьмин [и др.];* заявитель и патентообладатель Бурятская государственная сельскохозяйственная академия – ФГОУ – ВПО. - № 2005121808/11; заявл. 11.07.2005; опубл. 10.04.2008, Бюл. №10. – 4 с.
8. *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.
9. *Кузьмин А.В.* Методы снижения повреждаемости клубней картофеля и совершенствования картофелеуборочных машин: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 [Текст] / *А.В. Кузьмин.* - М., 2005. – 238 с.
10. *Верещагин Н.И.* Исследование и обоснование путей уменьшения механических повреждений клубней картофеля при поточной уборке: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / *Н.И. Верещагин.* - М., 1972. – 178 с.

Сведения об авторах

Коваливнич Виктория Дмитриевна – аспирант инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89500902261, E-mail: kovaliv07@mail.ru).

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

УДК 631.356.4:658.562

ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Кузьмин А.В., Аносова А.И.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Иркутская область уделяет особое внимание производству картофеля и овощей. Ежегодно увеличиваются посевные площади, в 2022 году увеличение произошло на 9,1 тыс. га по сравнению с прошлым годом. В производстве картофеля уборка является самым сложным и трудоемким процессом. Для уборки урожая необходима качественная техника. Современный рынок сельхозтехники может похвастаться огромным количеством модификаций картофелеуборочной техники. Известно, что от совершенствования конструкции уборочных машин, а точнее от конструкции их рабочих органов, также зависит качество собранного урожая картофеля, конкретнее механические повреждения клубней. Поэтому мы попытались проанализировать результаты испытаний картофелеуборочных комбайнов. Эксплуатационные испытания двух экземпляров картофелеуборочных комбайнов ККУ-1А-01 проводились на уборке картофеля с междурядьем 70 см во Владимирской области в агрегате с тракторами ВТЗ-45АТ. Условия проведения испытаний были характерны для данной зоны и соответствовали требованиям проекта ТУ за исключением засоренности почвы камнями, которые составили 16,6 т/га при допустимом не более 8,0.

По результатам испытания выявили, что уровень технической надежности обоих комбайнов в целом был признан удовлетворительным. Коэффициент готовности по оперативному времени комбайнов №1 и №2 составил 0,99 при нормативе по проекту не менее 0,95.

Ключевые слова: картофелеуборочный комбайн, потери клубней, полнота выкапывания клубней, полевые испытания, конструкция, коэффициент готовности.

JUSTIFICATION OF TEST RESULTS POTATO HARVESTER

Kuzmin A.V., Anosova A. I.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The Irkutsk region pays special attention to the production of potatoes and vegetables. The sown areas are increasing annually, in 2022 the increase was by 9.1 thousand hectares compared to the previous year. In potato production, harvesting is the most complex and time-consuming process. Harvesting requires quality equipment. The modern agricultural machinery market boasts a huge number of modifications of potato harvesters. It is known that the quality of the harvested potato crop, more specifically the mechanical damage to tubers, also depends on the improvement of the design of harvesters, or rather on the design of their working bodies. Therefore, we tried to analyze the results of tests of potato harvesters. Operational tests of two copies of KKU-1A-01 potato harvesters were carried out at harvesting potatoes with a row spacing of 70 cm in the Vladimir region in an aggregate with VTZ-45AT tractors. The test conditions were typical for this zone and corresponded to the requirements of the project specifications, with the exception of soil infestation with stones, which amounted to 16.6 t/ha, with an allowable value of not more than 8.0.

According to the results of the test, it was revealed that the level of technical reliability of both combines as a whole was found to be satisfactory. The availability factor for operational time of combines №1 and №2 was 0.99 with the standard for the project of at least 0.95.

Key words: potato harvester, tuber losses, tuberization completeness, field tests, design, readiness factor.

Введение. В Российской Федерации существует огромный потенциал развития сельскохозяйственного сектора во многих областях. Аналитики предсказывают ощутимый рост в данной отрасли в ближайшие годы. Новейшие технологии в сельском хозяйстве существенно снижают себестоимость производства, увеличивают производительность и улучшают качество продукции.

В изменившихся социально-экономических условиях увеличения в структуре посевных площадей удельного веса товарных и, в первую очередь, зерновых и уменьшения доли бобовых культур в системе земледелия и севооборотах региона произошло нарушение принципов плодосмена, повлекшее деградацию почвенного покрова. В принятой концепции по дальнейшему совершенствованию системы земледелия региона биологизация и экологизация определены как основные направления ее развития [1, 12]. Кроме того, Иркутская область – благоприятная зона для выращивания качественного продовольственного и семенного картофеля. Его выращивают в крупных сельскохозяйственных организациях, крестьянских (фермерских) хозяйствах и хозяйствах населения [2].

Уборка картофеля является одной из самых трудоемких технологических операций при возделывании картофеля [3]. Также уборка – сложный технологический процесс, который необходимо выполнять в оптимальные по погодным условиям сроки [4]. Уборку рекомендуется проводить, когда количество клубней с огрубевшей кожурой составляет не менее 95%, влажность почвы не выше 75% ППВ, стоит сухая погода, а температура почвы выше 10° С [5]. Механически, но деликатно собирать раннюю картошку можно с помощью прицепных машин, снабжённых регулируемым лемехом и ножами, а также просеивающей транспортной лентой и контейнерами. Прочие сорта картофеля подлежат уборке всевозможными картофелекопателями и картофелеуборочными комбайнами, предназначенными для выкапывания, сортировки и транспортировки урожая объёмом до двух тонн [6]. Современный рынок сельхозтехники может похвастаться огромным количеством модификаций картофелеуборочной техники. В настоящее время в России широко представлены картофелеуборочные комбайны фирм Grimme (Германия) и «Колнаг» (Голландия-Россия, производство в г. Коломна Московской области). Большой популярностью у сельскохозяйственных производств пользуется картофелеуборочный комбайн Grimme [7]. Самыми распространёнными в России являются прицепные одно- и двухрядные комбайны [8]. Известно, что от совершенствования конструкции уборочных машин, а точнее от конструкции их рабочих органов, также зависит качество собранного урожая картофеля, конкретнее механические повреждения клубней. Поэтому мы попытались проанализировать результаты испытаний картофелеуборочных комбайнов.

Цель – анализ результатов испытаний картофелеуборочного комбайна.

Материалы и методы. В работе использованы данные протоколов государственных приемочных испытаний комбайна картофелеуборочного ККУ-1А-01, методы: экономико-статистический, абстрактно-логический.

Результаты и обсуждение. Эксплуатационные испытания двух экземпляров картофелеуборочных комбайнов ККУ-1А-01 проводились на уборке картофеля с междурядьем 70 см во Владимирской области в агрегате с тракторами ВТЗ-45АТ. Условия проведения испытаний были характерны для данной зоны и соответствовали требованиям проекта ТУ за исключением засоренности почвы камнями, которые составили 16,6 т/га при допустимом не более 8,0. Средняя влажность почвы составила 17,9 – 20,2 % при твердости 0,39 – 1,29 МПа. Урожайность клубней картофеля находилась в пределах 16,3 т/га [9, 11].

Лабораторно-полевые испытания проводились при рабочей скорости 2,4 и 2,9 км/ч. При этом полнота выкапывания клубней составила 94,8 и 95,7% соответственно. Потери клубней при уборке со скоростью 2,4 км/ч составили 5,2% незначительно превысили требования проекта ТУ (не более 5%). На рабочей скорости 2,9 км/ч потери соответствовали необходимым требованиям. Содержание примесей в ворохе, поступающим в бункер комбайна после переборки двумя переборщиками при скорости движения 2,4 км/ч составило 0,6%. При увеличении скорости движения до 2,9 км/ч значение данного показателя увеличилось до 2,0%, что находится в пределах требований проекта ТУ (содержание примесей в ворохе должно быть не более 5%).

Из-за значительного содержания камней в почве повреждения клубней при скорости 2,4 км/ч составило 15,1 %. Значение данного показателя не соответствовало агротехническим требованиям (не более 10 %) при работе на легких и средних почвах. При увеличении скорости движения агрегата до 2,9 км/ч, повреждения клубней уменьшились до 7,7 %. Это связано с увеличением массы вороха, поступающей на основной элеватор при повышенной скорости движения. Основными видами повреждений клубней были трещины и потемнения мякоти глубиной более 5 мм [10, 13].

В результате эксплуатационно-технологической оценки было установлено, что картофелеуборочный комбайн ККУ-1А-01 по всем нормируемым показателям соответствовало требованиям проекта ТУ. Производительность комбайна за 1 час основного времени составила 0,15 га/ч (при нормативе 0,1 – 0,35 га/ч), а производительность за 1 час эксплуатационного времени составила 0,08 га/ч (при нормативе 0,06 – 0,21 га/ч).

Технологический процесс выполнялся устойчиво. Отмеченные забивания клубнеотбойного валика горки не повлекли за собой резкого снижения коэффициента надежности технологического процесса. Значение данного показателя составило 0,97, что соответствовало требованиям проекта ТУ (не менее 0,95).

Энергетическая оценка комбайна проводилась в агрегате с трактором ВТЗ-45АТ по методу расхода топлива, предусмотренного РД 10.2.2-89. В результате испытаний установлено:

- при скорости движения 0,71 - 0,92 м/с эффективная мощность двигателя, необходимая для работы агрегата, составила 19,6 – 23,2 кВт, а удельный расход топлива 26,1 – 29,4 кг/га соответственно;

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

- коэффициент использования эксплуатационной мощности двигателя, составляющий 59 – 70% свидетельствовал о том, что комбайн картофелеуборочный однорядный ККУ-1А-01 по тягово-мощностным показателям удовлетворительно агрегатировался с трактором ВТЗ-45АТ.

При испытаниях на надежность наработка комбайна №1 составила 104 часа, а комбайна №2 – 100 часов основной работы. За указанный объем наработки по комбайну №1 было отмечено 5 отказов, из них 1 отказ 1-й группы сложности и 4 отказа 2-й группы сложности. Три из отмеченных отказов носили конструкционный характер и два отказа – производственный характер. По комбайну №2 за истекший период было отмечено 6 отказов, из них 1 отказ 1-й группы сложности и 5 отказов 2-й группы сложности. Четыре отказа классифицировали как конструкционные и два – производственные. Основными причинами отказов конструкционного характера явилась конструкционная недоработка каркаса тента, промежуточной опоры карданного вала снпцы, регулировочного винта вала ботвоудалителя и регулировочного вала встряхивателя основного элеватора.

Причинами отказов производственного характера послужили некачественная сварка ведущего вала горки, кронштейна крепления горки, кронштейна перевода подкапывающей части в транспортное положение и несоответствие чертежам посадочного отверстия кронштейна натяжной звездочки привода клубнеотбойного валика горки.

Уровень технической надежности обоих комбайнов в целом был признан удовлетворительным. Коэффициент готовности по оперативному времени комбайнов №1 и №2 составил 0,99 при нормативе по проекту ТУ не менее 0,95. Коэффициент готовности с учетом организационного времени по комбайну №1 получен равным 0,95, а по комбайну №2 – 0,94, что также находится в пределах требований проекта ТУ (не ниже 0,94).

Удельная суммарная оперативная трудоемкость устранения отказов не превышала нормативного по ТУ значения 0,05 чел.ч/ч и составила 0,011 и 0,010 чел.ч/ч по каждому комбайну соответственно.

Несмотря на то, что значение вышеперечисленных показателей находилось в пределах требований ТУ, наработка обоих комбайнов на отказ была снижена до 20,8 часа по комбайну №1 и 16,7 часа по комбайну №2. В то время, как проектом ТУ было предусмотрено нормативное значение данного показателя не менее 25 часов.

При оценке приспособленности картофелеуборочного комбайна к проведению технического обслуживания недостатков не было отмечено. Техническое обслуживание сводится к очистке рабочих органов, проверке технического состояния и подтяжке резьбовых соединений.

Удельная суммарная оперативная трудоемкость ТО составила 0,053 чел.ч/ч, что соответствовало требованиям проекта ТУ (не более 0,09 чел.ч/ч).

Выводы. Таким образом, испытаниями было установлено, что комбайн надежно выполняет технологический процесс, с показателями качества, соответствующими (кроме повреждения клубней) требованиям проекта ТУ.

Повышенное значение повреждения клубней связано со значительным содержанием в почве камней размером 50 мм и более. По тягово-мощностным показателям комбайн удовлетворительно агрегируется с трактором ВТЗ-45АТ, так же оба комбайна, поступившие на испытания, имеют достаточный уровень технической надежности. Коэффициент готовности по комбайну №1 составил 0,95 и по комбайну №2 – 0,94, что соответствует требованиям проекта ТУ (не менее 0,94).

Список литературы

1. *Выращивание картофеля* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// ab-centre.ru/page/vyraschivanie-kartofelya](https://ab-centre.ru/page/vyraschivanie-kartofelya).
2. *Дмитриев Н.Н.* Агрэкономическая эффективность плодосменных севооборотов с сидерацией и фитомелиорацией. “Научно-практический журнал “Вестник ИрГСХА”. 2020; 101:14-22. DOI: 10.51215/1999 - 3765-2020-101-14-22
3. 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
4. *Кузьмин А.В.* Методы снижения повреждаемости клубней картофеля и совершенствования картофелеуборочных машин: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 [Текст] / *А.В. Кузьмин*. - М., 2005. – 238 с.
5. *Окладчик С.А.* Картофелеводство в хозяйствах Иркутской области. “Научно-практический журнал “Вестник ИрГСХА”. 2020; 101:49-58. DOI: 10.51215/1999- 3765-2020-101-49-58.
6. *Остроумов, С.С.* Направления развития картофелеуборочных машин с целью снижения повреждаемости картофеля / *С.С. Остроумов, А.В. Кузьмин, М.К. Бураев*: Монография. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2014. – 227 с.: ил. – ISBN.
7. *Протокол № 03-65-96(4090162) государственных приемочных испытаний комбайна картофелеуборочного ККУ-1А-01*, Покров,1996. – 44 с.
8. *Уборка и хранение картофеля* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// agrokoronevo.ru/uborka_i_hranenie_kartofelya](https://agrokoronevo.ru/uborka_i_hranenie_kartofelya).
9. *Уборка картофеля* / *К. А. Пшеченков, Г.Л. Белов, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов* // Земледелие.2018. №5. С. 23-26. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10506.
10. *Уборка картофеля* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// www.techagro.ru/catalog/uborka-kartofelya](https://www.techagro.ru/catalog/uborka-kartofelya).
11. *Цепляев А.Н., Абезин В.Г., Скрипкин Д.В.* Технология уборки картофеля комбайном // Известия НВ АУК. 2018. №1 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-uborki-kartofelya-kombaynom>.
12. *Шуханов С.Н.* Исследование удара клубней о пальцы роторного сепаратора картофелеуборочного комбайна / *С.Н. Шуханов, А.В. Кузьмин, С.С. Остроумов* // Техника в сельском хозяйстве, 2014. - №5. - С.19 – 21. 7 . *Шуханов С.Н.* Повышение эффективности машин для сухой очистки корнеплодов / *С.Н. Шуханов*. Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2016. - №2. - С.13 – 14.
13. *Эффективная уборка* / *Мария Арсеньева* // Журнал «Агротехника и технологии». сентябрь – октябрь 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// www.agroinvestor.ru/technologies/article/15149-effektivnaya-uborka/](https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/15149-effektivnaya-uborka/)

Сведения об авторах

Кузьмин Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса и инженерных дисциплин инженерного факультета (664038,

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный; Тел.:89503835361, E-mail: kuzmin_burgsha@mail.ru).

Аносова Анна Иннокентьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин инженерного факультета (664038, Иркутская Область, г. Иркутск, пос. Молодежный; Тел.:89836938151, E-mail: a.anosova@yandex.ru).

УДК 631.3.02 – 192 (571.53)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ЦЕЛЬЮ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Шистеев А.В., Бураев М.К.
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ
Молодежный, Иркутская область, Россия

Современные программы развития сельского хозяйства по интенсификации сельскохозяйственного производства, предусматривают повышение уровня оснащения агропромышленного комплекса энергонасыщенными тракторами, современными комбайнами и другими различными мобильными или стационарными техническими агрегатами. В свою очередь, известно, что обеспечение высокого уровня технической готовности тракторов и машин напрямую взаимосвязано с использованием качественных топливо-смазочных ресурсов. С этой стороны высокопроизводительные мобильные сельскохозяйственные машины предъявляют высокие требования к качеству технического обслуживания и ремонта, чистоте и свойствам горючих и смазочных ресурсов, в связи с чем используемые для смазочно-заправочных операций материалы должны соответствовать требованиям и стандартам [1, 2]. При этом, замена жидкостей при проведении технических обслуживаний и ремонтов в процессе аграрного производства производится намного чаще, чем в других отраслях, поскольку каждый шаг на пути к получению продукции связан с агротехническими сроками и климатом, что приводит к увеличению затрат на утилизацию отходов нефтепродуктов, интенсивному загрязнению экологии. Таким образом, суммарные значения общих объемов использования продуктов нефтепереработки на сельскохозяйственных предприятиях могут достигать огромных значений, а переработка нефтепродуктов является актуальным направлением, поскольку передовые технологии крупных зарубежных концернов показывают, что ресурсосбережение производных нефти может достигать 95 % [3].

Ключевые слова: смазочные материалы, переработка отходов, ресурсосбережение.

DEVELOPMENT OF REUSE TECHNOLOGY PETROLEUM PRODUCTS FOR THE PURPOSE OF RESOURCE SAVING

Shisteev A.V., Buraev M.K.
FSBEI HE Irkutsk SAU
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Modern agricultural development programs for the intensification of agricultural production provide for an increase in the level of equipping the agro-industrial complex with energy-saturated tractors, modern combines and various other mobile or stationary technical units. In turn, it is known that ensuring a high level of technical readiness of tractors and machines is directly related to the use of high-quality fuel and lubricant resources. On this side, high-performance mobile agricultural machines place high demands on the quality of maintenance and repair, the purity and properties of combustible and lubricating resources, and therefore the materials used for lubrication and filling operations must comply with the requirements and standards [1, 2]. At the same time, the replacement of fluids during maintenance and repairs in the process of agricultural production is carried out much more often than in other industries, since each step on the way to obtaining products is associated with agrotechnical terms and climate, which leads to an increase in the cost of disposing of waste oil products, intensive environmental pollution. Thus, the total values of the total volumes of the use of refined products in agricultural enterprises can reach huge values, and the processing of petroleum products is an important area, since the advanced technologies of large foreign concerns show that the resource saving of oil derivatives can reach 95% [3].

Key words: lubricants, waste processing, resource saving.

Введение. На сегодняшний день, в отечественной промышленности данный сектор технологий ресурсосбережения по переработке нефтепродуктов развит в очень малой степени. При этом, за рубежом управление движением отработанной продукции, в том числе моторного, трансмиссионного и других типов масла руководствуется отдельной директивой по утилизации отработанных масел (утилизация включает в себя сбор, транспортировку, переработку (в том числе и регенерацию) и захоронение отработанных масел). Данная директива или закон рассматривает отработанные масла, как продукты, подлежащие вторичному использованию (долгий промежуток времени большая часть собранного отработанного масла в странах Евросоюза использовалась в качестве топлива). При этом зная, что отработанное масло является богатой основой для изготовления базового масла, после введения ряда дополнительных поправок в закон, по поддержанию малых предприятий по регенерации, в таких странах, как Германия, Бельгия и Италия – более 50% отработанных масел от сбора стало перерабатываться с целью получения регенерированных базовых масел [4, 6].

Цель работы. Провести обзор существующих технологий повторного использования нефтепродуктов, разработать алгоритм утилизации отходов нефтепродуктов, уместный для Иркутской области, представить принципиальную схему установки для переработки.

Материалы и обсуждение. В качестве примера модернизации процесса переработки может быть приведена технология жесткого гидрокрекинга НТ компании «Petro-Canada», которая предусматривает удаление ароматических и полярных углеводородов за счет реакции исходных нефтепродуктов с водородом и в присутствии катализаторов при высоких температурах до 400°C и давлении до 680 кПа (Рисунок 1).

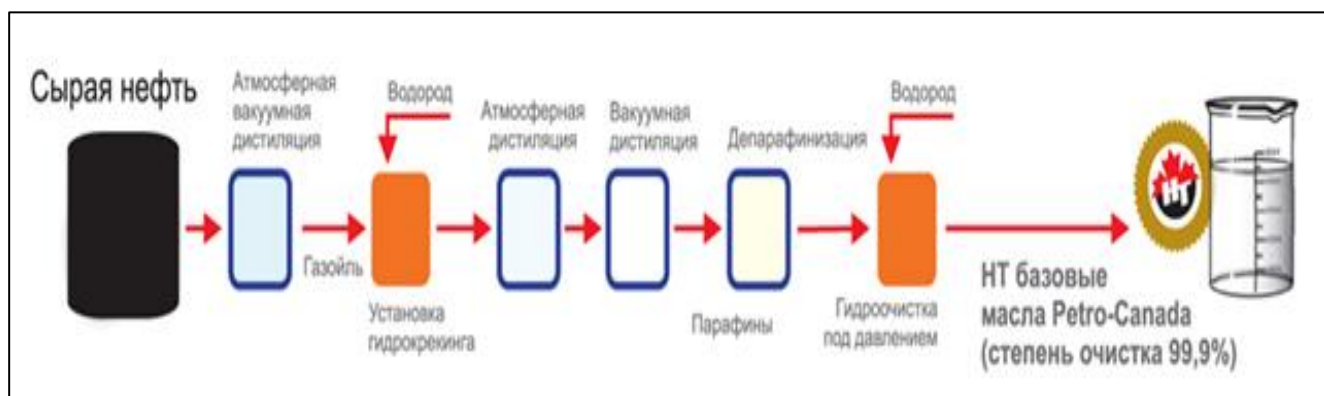


Рисунок 1 – Жесткий гидрокрекинг, Petro-Canada

Получаемые молекулы углеводородов обладают высокой стабильностью, то есть высоким уровнем устойчивости молекул углеводородов к окислению, в связи с чем – идеально подходят для базовых масел, при этом, получаемые

продукты классифицируются API (American Petroleum Institute), как базовые масла группы II (Таблица 1).

Таблица 1 – Распределение масел по классификации API

Группа API	Характеристики базового масла			Метод производства
	Сера, вес (%)	Насыщенные углеводороды, вес (%)	Индекс вязкости	
I	>0,03	<90	80 – 119	Сольвентная очистка
II	<0,03	>90	80 – 119	Гидроочистка
III	<0,03	>90	>120	Жесткий гидрокрекинг
IV	Полиальфаолефины (ПАО)			Олигомеризация
V	Другие базовые масла			Различные

Таким образом, абсолютное большинство моторных масел, применяемых для смазки двигателей тракторов и машин, на сегодняшний день, различаются по следующим стандартам классификации: SAE (Общество автомобильной инженерии), ACEA (Ассоциация европейских автопроизводителей), API (Американский институт нефти). В отрасли сельского хозяйства Иркутской и других областей, также применяется большое количество топливо-смазочных материалов, стандартизированных по приведенным параметрам, то есть отработанный материал полностью подходит для переработки, однако сам вопрос переработки отработанных нефтяных отходов изучен не в полной мере. Соответственно, введение мер по организации сбора отработанного масла, проведение опытов по регенерации масла, проведение триботехнических испытаний, химического и лабораторного анализов позволят значительно расширить эту область знаний и получить результаты, имеющие большое практическое значение.

Такие вопросы прорабатывались, например, в судостроении. При эксплуатации судовых дизельных установок, Патровым Ф.В. и Вахромеевым О.С. проведены наблюдения и сделаны выводы о том, что первичное сырье – мазут, изначально может содержать до 15 – 16 % водной составляющей. Практическое же применение полученных составов, было апробировано на дизелях Ч 8,5 / 11, Ч 12 / 16, Ч 13 / 14, получены положительные результаты. Отмечается, что при работе на водотопливной эмульсии в камерах сгорания образуется намного меньше нагара и даже наблюдается эффект самоочистки [5, 7, 8]. Однако, двигатели такого типа уже давно считаются морально устаревшими, поскольку имеют низкий уровень экологической безопасности, повышенный расход топлива по причине примитивности топливоподачи, низкий коэффициент полезного действия, присутствует некоторый дефицит запасных частей ввиду того, что данные модели ДВС более не производятся.

В Иркутской области, в дорожно-строительной отрасли широкое применение находит установка специальных диспергаторов [5, 9], использование которых позволяет смешивать мазут, как фракцию нефти и воду. Такие технологии успешно применяются, например, при работе асфальто-бетонных

заводов ООО «Труд», которые, в настоящее время, имеют полностью мобильный парк машин и агрегатов. Иными словами, завод по производству дорожного покрытия переносится как можно ближе к месту проведения работ. Здесь необходимо отметить, что каждый раз при монтаже всех составляющих такого производства на месте, необходимо проведение всех работ по подготовке контрольно-измерительных приборов, диспергаторов, емкостей, греющих элементов, грохотов и т.д. Многие котельные, имеющие доступ к нефтепродуктам, активно осваивают этот вид ресурсосбережения – использования смеси 15 – 40 % воды и 60 – 85 % мазута, что действительно приносит ощутимый эффект [7, 10], на практике, происходит молекулярное смешивание мазута и воды в пропорции 8,5 тонн : 1,5 тонны в 10 тонной емкости под давлением перемешивающего насоса 10 кПа.

В сельском хозяйстве, такие исследования проводились многими учеными, например, эксперименты проведенные на базе ЧГАА, Старцевым А.В., Ивановым А.С., показали, что оптимальной является эмульсия дизельного топлива с содержанием 20 % воды. При таком соотношении масс, двигатель трактора работает устойчиво, дымность снижается, а КПД увеличивается [6].

Разработанный алгоритм утилизации отходов нефтепродуктов предусматривает использование современных методов восстановления отработанных масел (например, сернокислотная и гидроочистка, процессы с применением натрия и ряд физических методов), получение базовых масел, паритетных по своим свойствам с маслами, добываемыми из чистой нефти. Продукты переработки можно использовать при производстве различных смазок, масел и их стоимость намного ниже, чем при прямой переработке первичного природного сырья (Рисунок 1).

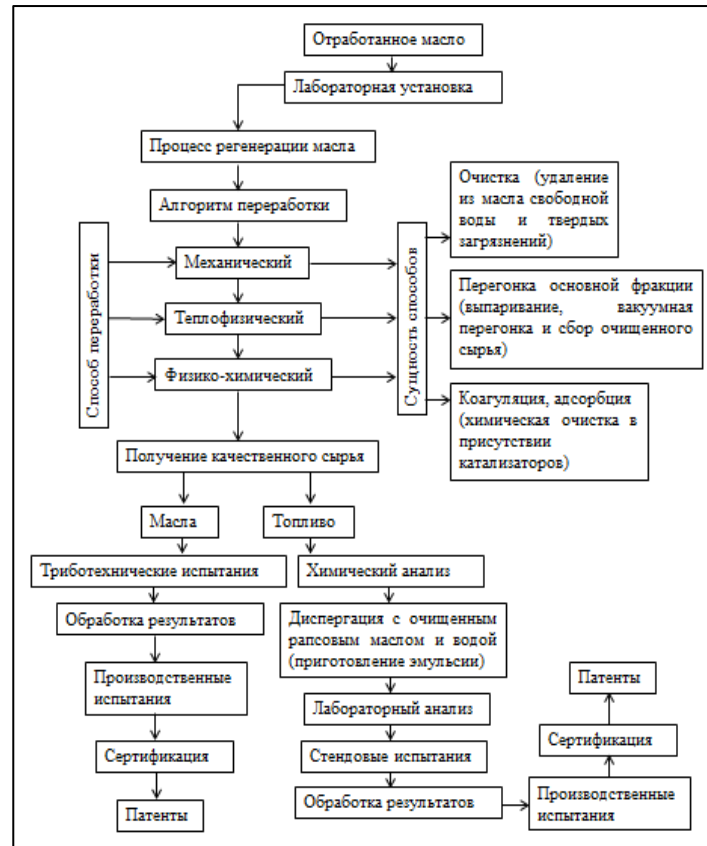


Рисунок 1 – Алгоритм регенерации отработанного масла

Данный алгоритм должен найти применение не только для создания лабораторной установки, позволяющей получать до 30 – 50 литров в час топлива или масла, но и дополнительного сбережения ресурсов – за счет использования части отработанного масла для приготовления эмульсии воды и масла, путем механического тип смешивания.

При первичном разогреве котла для упаривания отработанного масла, которая будет находиться в процессе термической обработки, данная эмульсия будет служить в качестве топлива, при этом, когда процесс набирает нужную температуру, контрольно-измерительные приборы должны переключить лабораторную установку на электрический подогрев, для поддержания температуры реакции (Рисунок 2).

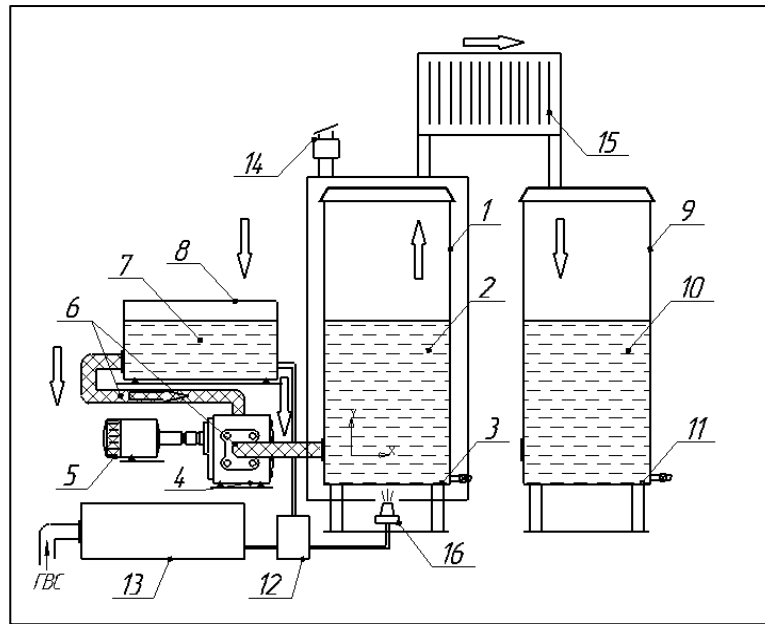


Рисунок 2 – Схема регенерационной установки

Отработанное масло поступает в емкость 8, далее при помощи шестеренчатого насоса НШ-32 перекачивается в резервуар для первичной дистилляции 1. При этом подогрев дистиллятора осуществляется от горелки 16, которая работает на эмульсии отработки и воды, смешиваемой при помощи диспергатора 12, продукты сгорания выпускаются в окружающую среду через сажевый фильтр 14. После подогрева пары восстановленной базовой нефтяной основы поступают в охладитель и конденсируются в резервуар для готовой продукции. На резервуарах предусмотрены сливные краны для очистки или аварийного сброса. Шестеренчатый насос приводится во вращение при помощи электродвигателя 5 марки АИР 132 S6 5,5 кВт 1000 об/мин. Шестеренчатые насосы серии НШ имеют конструктивные особенности, достаточные для развития давления 15000-16000 кПа в связи с чем, установки электродвигателя из наиболее низких по стоимости – 1,5 кВт явно недостаточно даже для прокачки без противодействия.

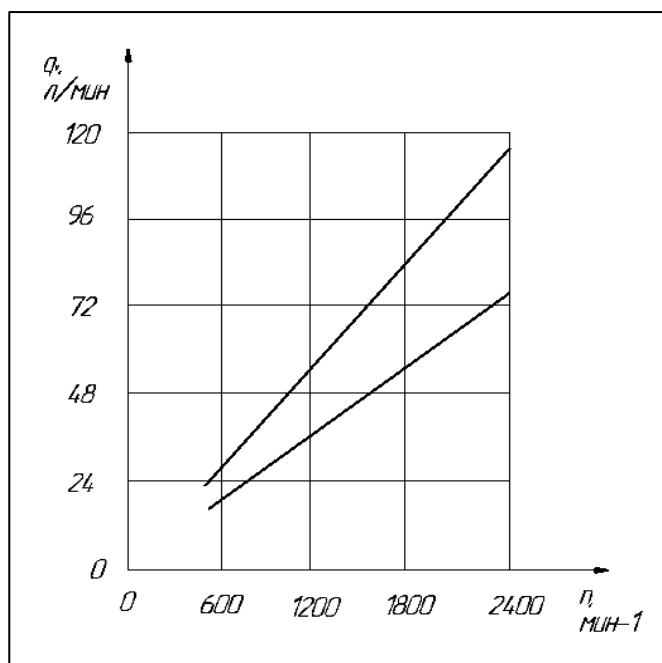


Рисунок 3 – Номограмма для подбора электродвигателя установки

Таким образом, исследование предусматривает создание полностью подготовленной лабораторной установки для восстановления базовых свойств отработанного масла, технология должна обеспечивать сжигание части отработанного масла путем механического дисперсного смешивания.

Необходимо проведение стендовых испытаний полученного топлива и масла, затем практическая апробация на тракторах с различными системами топливоподачи для снятия всех необходимых параметров.

Выводы. 1. Анализ исследований восстановления ресурсов на основе применения регенерации группы базовых масел из отработанного показал, что отработанное масло, содержащее 2 – 4 % твердых примесей и до 10 % остатков топливных соединений, содержит в своей консистенции до 70 – 85 % полезных соединений высокомолекулярных углеводородов, полиальфаолефинов, сложных эфиров.

2. Разработка технологии переработки позволит увеличить уровень ресурсосбережения на предприятиях АПК, повысить уровень экологической безопасности при утилизации отходов нефтепродуктов.

Список литературы

1. Аносова А.И. Влияние параметров декомпрессирования цилиндров двигателя на момент сопротивления сжатию / Аносова А.И., Ильин П.И., Шуханов С.Н. // Вестник ВСГУТУ. – 2022. № 2 (85). с. 36-40.

2. Бураев М.К. Логистическая поддержка системы производственно-технической эксплуатации машинно-тракторного парка / Бураев М.К., Шистеев А.В. / В сборнике: Информационные технологии, системы и приборы в АПК. материалы 7-й Международной научно-практической конференции "Агроинфо-2018". Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий Российской академии наук, Сибирский физико-технический институт аграрных проблем и др., 2018. с. 383-386.

3. Горбунова Т.Л. Экономическая оценка мероприятий по улучшению охраны окружающей среды при техническом обслуживании тракторов / Хабардин В.Н., Горбунова Т.Л. // В сборнике: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. материалы XI Международной научно-практической конференции. п. Молодежный, 2022. С. 365-371.

4. Доржиев А.С. Обзор и анализ систем газораспределения поршневых двигателей внутреннего сгорания / Доржиев А.С., Косарева А.В. // В сборнике: Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи. Сборник статей по материалам XIV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых учёных. Курган, 2022. с. 12-16.

5. Патров Ф.В. Испытание водотопливной эмульсии при эксплуатации судовых ДВС / Ф.В. Патров, О.С. Вахромеев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технологии. 2009, с. 223 – 225.

6. Работа НШ с электродвигателем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipmaker.ru/topic/222429/> - 01.04.2023

7. Старцев А.В. Методика экспериментальных исследований работы дизеля на водотопливной эмульсии / А.В. Старцев, А.С. Иванов // Аграрный вестник Урала. № 11(65), 2009, с. 123 – 124.

8. Тетерина Е.Р. Разработка метода очистки отработанного моторного масла селективными кислотными растворителями / Шистеев А.В., Астапов Я.И., Тетерина Е.Р. // В сборнике: Научные исследования и разработки к внедрению в АПК. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых. 2020. с. 298-306.

9. Шистеев А.В. Обеспечение работоспособности автотракторной техники корректированием расхода запасных частей при техническом сервисе / Бураев М.К., Шистеев А.В. // Вестник ВСГУТУ. – 2019. № 3 (74). с. 69-76.

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

Сведения об авторах

Шистеев Алексей Валерьевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис и общеинженерные дисциплины» инженерного факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89025608844, E-mail: drive-er@yandex.ru).

Бураев Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин. Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89500904493, E-mail: buraev@mail.ru).

УДК 504.064.36:574

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ
МОТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С УЧЕТОМ
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ**

Хабардин В.Н., Горбунова Т.Л., Шелкунова Н.О.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Потребление предприятиями агропромышленного комплекса (АПК) минеральных смазочных материалов различного назначения достигает 30 % от их общего производства в стране, а стоимость этих материалов составляет значительную долю в себестоимости сельскохозяйственной продукции. Одним из направлений экономии нефтепродуктов является вторичное использование отработанных моторных минеральных масел после очистки и восстановление их эксплуатационных свойств. Переработка моторного масла является экономически и экологически обоснованной. Так, при переработке 100 т отработанного масла можно получить более 80 т готового продукта без воздействия на окружающую среду. Очисткой моторных масел в нашей стране начали заниматься с 60-х годов прошлого века. Безусловно, к настоящему времени инженерами и учеными нашей страны разработаны различные методы и многие средства очистки отработанных моторных масел. В Советском Союзе они находили свое практическое применение. Однако в последние три десятилетия российские технологии и средства очистки масел постепенно были заменены на импортные. В современных условиях импортозамещения возникает задача воссоздания и дальнейшего развития отечественных технологий и средств очистки масел. Первый этап решения этой задачи – анализ методов и средств очистки отработанных моторных масел от загрязнения, который бы позволил определить направления их выбора и дальнейшего совершенствования. На основе изучения литературных источников выявлены, по крайней мере, две отечественные экспериментальные установки для очистки отработанных моторных масел, которые, на наш взгляд, можно рекомендовать для практического применения и их дальнейшего совершенствования. Первая из них – универсальная и стационарная, технологический процесс которой включает в себя несколько методов очистки масла. Вторая – передвижная, обеспечивающая очистку масла при применении картонных и войлочных фильтров. Эти установки обеспечивают достаточное качество очистки масел и могут быть смонтированы в сельскохозяйственных предприятиях при использовании только отечественных комплектующих изделий.

Ключевые слова: масла моторные отработанные, методы и средства очистки, экспериментальная установка, импортозамещение.

**ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF CLEANING USED
MOTOR OILS FROM POLLUTION, TAKING INTO ACCOUNT
IMPORT SUBSTITUTION**

Khabardin V.N., Gorbunova T.L., Shelkunova N.O.

Irkutsk State University P. Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The consumption of mineral lubricants for various purposes by enterprises of the agro-industrial complex (AIC) reaches 30% of their total production in the country, and the cost of

these materials accounts for a significant share in the cost of agricultural products. One of the directions of saving petroleum products is the secondary use of used motor mineral oils after purification and restoration of their operational properties. The processing of motor oil is economically and environmentally sound. Thus, when processing 100 tons of waste oil, it is possible to obtain more than 80 tons of the finished product without environmental impact. Cleaning of motor oils in our country began to be engaged in the 60s of the last century. Of course, by now engineers and scientists of our country have developed various methods and many means of cleaning used motor oils. In the Soviet Union, they found their practical application. However, in the last three decades, Russian technologies and oil purification products have gradually been replaced by imported ones. In modern conditions of import substitution, the task of recreating and further developing domestic technologies and means of oil purification arises. The first stage of solving this problem is the analysis of methods and means of cleaning used engine oils from contamination, which would allow determining the directions of their selection and further improvement. Based on the study of literary sources, at least two domestic experimental installations for cleaning used engine oils have been identified, which, in our opinion, can be recommended for practical use and their further improvement. The first of them is universal and stationary, the technological process of which includes several methods of oil purification. The second is mobile, which provides oil purification when using cardboard and felt filters. These installations provide sufficient quality of oil purification and can be installed in agricultural enterprises using only domestic components.

Keywords: used engine oils, cleaning methods and means, experimental installation, import substitution.

Потребление предприятиями агропромышленного комплекса (АПК) минеральных смазочных материалов различного назначения сегодня достигает 30 % от их общего производства в стране, а стоимость этих материалов составляет значительную долю в себестоимости сельскохозяйственной продукции [5]. Одним из направлений экономии нефтепродуктов является вторичное использование отработанных моторных минеральных масел после очистки и восстановление их эксплуатационных свойств. Переработка моторного масла является экономически обоснованной. Очисткой моторных масел в нашей стране начали заниматься с 60-х годов прошлого века. Очищали кислотным и щелочным методами в специальных аппаратах, а также дополнительно отбеливали глинами, затем сушили. Очищали масла контактным фильтрованием, а вся процедура, включающая использование кислоты и глины, получила название кислотно-контактной очистки [10]. Из-за существенных недостатков от описанных методов очистки стали отказываться в пользу более современных и эффективных. Отработанные масла относятся к категории опасных отходов, что связано с их нерастворимостью, химической устойчивостью, наличием токсических химических соединений и тяжелых металлов. Процессы восстановления отработанного моторного масла относятся к ресурсоэффективным и экологичным мероприятиям. Так, при переработке 100 т отработанного масла можно получить более 80 т готового продукта без воздействия на окружающую среду [8]. Следовательно, решение проблемы, касающейся очистки отработанных масел от загрязнения, своей актуальности не теряет, особенно в условиях импортозамещения.

В ходе эксплуатации смазочные масла со временем ухудшают свои рабочие свойства, что вызвано их загрязнением посторонними примесями, либо же химическим изменением их компонентов. Ставшее непригодным для использования масло подлежит утилизации, либо очистке. К основным загрязнителям масел можно отнести воду, механические примеси, продукты окисления.

Наличие воды оказывает сильное влияние на качество смазывающего масла. Она не только изменяет физические показатели, но и может вступать в химическую реакцию. Кроме того, обводненное масло оказывает значительно большее коррозионное воздействие. В случае эксплуатации при низких температурах водяные включения могут переходить в кристаллическую форму, оказывая тем самым абразивное воздействие на смазываемые детали машин и механизмов [6].

Различного рода твердые включения являются одним из наиболее распространенных и в то же время одним из наиболее опасных видов загрязнителей. Основное назначение смазочных масел – снижение износа деталей из-за возникающего при эксплуатации трения между ними, а твердые частички в масле как раз приводят к усилению абразивного износа соприкасающихся поверхностей.

Преимущественно под влиянием высоких температур в маслах в ходе работы протекают реакции окисления, в которые вступают наиболее неустойчивые углеводороды из состава масла. В результате таких реакций образуются различные посторонние вещества, такие как кислоты, смолы, асфальтены, карбены и другие, которые приводят к ухудшению физико-химических свойств масел, что негативно сказывается на их эксплуатационных качествах [1].

Утилизация отработанного масла требует финансовых затрат, но еще более неэкономичным оказывается одноразовое использование смазочных масел, стоимость которых может быть очень высока в связи со сложностью их производства. Экономичнее проводить регенерацию масел, при которой из них удаляются скопившиеся загрязнители, и оно может быть использовано повторно и возвращено в систему смазки [1].

Все методы очистки масел делятся на три общих группы (рисунок 1, классификация разработана по источнику [10]).

Физические методы выступают в качестве вступительной стадии очистки, на которой удаляются механические примеси, жидкие загрязнители (включая воду) и газовые включения. Физико-химические и химические методы являются или могут являться их продолжением в общем технологическом процессе очистки масел. Представим их далее более подробно.

Отстаивание является наиболее простым в реализации. Отделяются крупные механические или водные включения, оседающие на дно под действием сил притяжения. Отстаивание происходит в аппаратах простой конструкции, называемых отстойниками. Особенности этого метода делают

его предпочтительным в качестве предварительного этапа очистки с целью снижения нагрузки на последующие аппараты тонкой очистки [9].



Рисунок 1 – Методы очистки моторных минеральных масел

Сепарация – это процесс центрифугирования масла, при котором используется поле центробежных сил. При использовании центрифуги требуются дополнительные источники энергии, а также электродвигатели.

Фильтрация заключается в пропускании загрязненного масла через объем фильтрующего материала. Степень очистки зависит как от размеров отделяемых частиц, так и от размеров пор или ячеек сетки. Аппарат для проведения фильтрации называется фильтром.

При использовании физико-химических методов (рисунок 1) компоненты масла могут претерпевать частичные химические изменения в ходе очистки. Как правило, они более сложные в реализации и затратные в сравнении с физическими, однако обеспечивают более глубокую и полную очистку масел.

Адсорбционная очистка масла заключается в его пропускании через слой адсорбента – высокопористого вещества, структура которого позволяет задерживать в себе ряд растворенных примесей. В качестве такого высокопористого материала могут выступать природные материалы, такие как отбеливающая глина и бокситы, а также специально подобранные материалы, например, силикагель или окись алюминия. Аппараты для проведения адсорбции называются адсорберами [6, 9].

Метод коагуляции направлен на усиление эффективности ряда физических методов, так как в его основе лежит принцип слипания и укрупнения (коагуляции) коллоидных частиц загрязнителей масла, неотделимых или трудно отделимых фильтрацией и отстаиванием, которые

после укрупнения уже могут быть отделены вышеназванными физическими методами. Для осуществления коагуляции используют ряд физических воздействий (электрический ток, перемешивание, сильный нагрев или охлаждение и т.д.), а также применяют специальные вещества – коагулянты.

Термовакuumная сушка – это метод, при котором из масла удаляется большая часть воды и растворенных газов. В основе метода лежит разность температур кипения воды и масла, что дополнительно усиливается созданием низкого давления в камере, в которой происходит испарение воды. Аппараты для термовакuumной сушки имеют относительно простую конструкцию и достаточно просты в эксплуатации, однако в процессе их использования необходимо контролировать уровень их герметизации и не допускать попадания атмосферного воздуха [6, 9].

Селективное растворение основано на использовании растворителей, которые должны не смешиваться с маслом и значительно лучше растворять в себе вещества, подлежащие удалению из масла. При смешении масла и растворителя создается развитая поверхность контакта фаз, через которую происходит интенсивный переход загрязнителя из масла в растворитель. Затем фазы разделяются, после чего растворитель также может быть очищен от растворенного в нем загрязнителя и использован повторно для очистки масла [6, 9].

Методы химической группы используют различные реагенты, вступающие в химические реакции с загрязняющими компонентами масла.

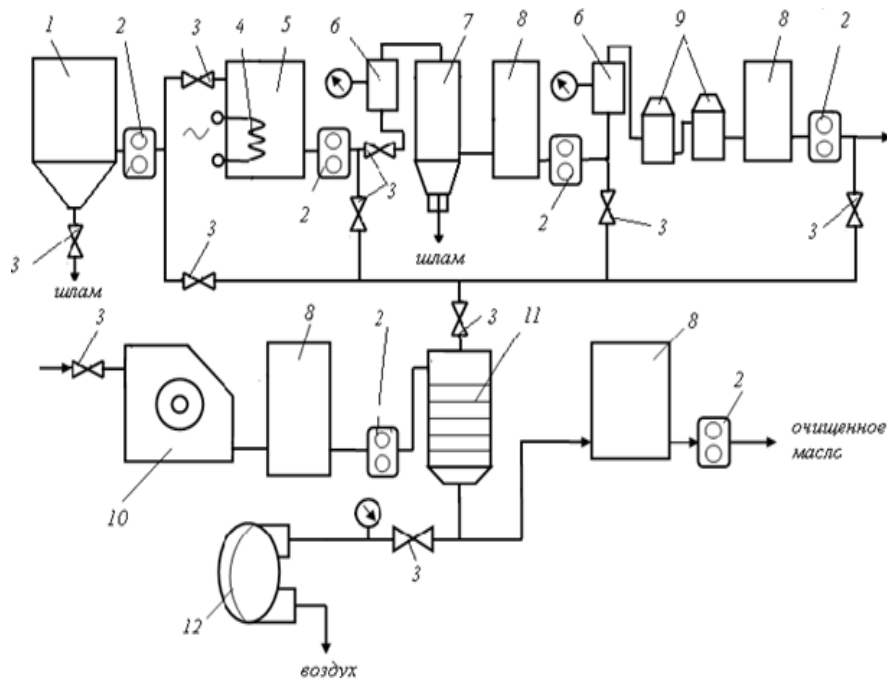
Кислотную обработку применяют для удаления асфальто-смолистых веществ, ненасыщенных углеводородов и других соединений, выпадающих в осадок при взаимодействии с серной кислотой.

Щелочную обработку используют при сильной изношенности масла, когда требуется удалить различные органические кислоты и эфиры. При этом образуются химические соединения, легко растворяющиеся в воде, что делает эффективной последующую промывку. Щелочная обработка может выступать в качестве завершающей стадии кислотной обработки, но также может выступать и в роли самостоятельного этапа очистки масла [6, 9].

Из представленных методов (рисунок 1) наиболее приемлемый метод очистки выбирают исходя из характера загрязнения, общего состава масла и требуемой степени очистки. При комплексном загрязнении может быть использовано несколько стадий очистки масла с использованием разных методов. В первую очередь проводят очистку от наиболее крупных и наиболее легко отделяемых загрязнителей, после чего следует стадия тонкой очистки. Безусловно, все перечисленные методы или только некоторые из них могут быть реализованы в средствах очистки масел, которые представлены далее в виде примеров.

Итак, в сельскохозяйственных предприятиях для очистки отработанных моторных минеральных масел применяют специальные установки. Одна из них – универсальная установка для очистки моторного

масла – показана на рисунке 2 [2]. Она состоит из ёмкости 1 для отстоя, шестерённых насосов 2, магистральных вентилей 3,



а



б

Рисунок 2 – Универсальная экспериментальная установка для очистки моторного масла: а – принципиальная схема установки (обозначения в тексте);

б – внешний вид (фото) установки

нагревательного элемента 4, ёмкости для нагрева отработанного масла 5, дросселя- расходомера 6 (типа ДР-70), гидроциклона 7, ёмкостей 8 для сбора очищаемого масла, полнопоточных масляных центрифуг 9 двигателя СМД-

62, магнитного очистителя 10, фильтрующего элемента 11 и вакуумного насоса 12 [2]. Принцип работы установки следующий. Отработанное масло заливают в ёмкость 1 для отстоя. После отстаивания масло подают в ёмкость для нагрева 5, где происходит испарение из масла воды и лёгких топливных фракций. После нагревания масло шестерённым насосом 2 под давлением 0,5 МПа, которое регулируется дросселем-расходомером 6, подаётся в гидроциклон 7. В гидроциклоне 7 очищенное масло делится на две фракции. Первая фракция – очищенное масло, вторая – масло с механическими примесями. Очищенное масло собирается в ёмкости 8. Данный процесс составляет первую ступень очистки. На второй ступени очистки масло из ёмкости 8 с помощью шестерённого насоса 2 под давлением 0,3 МПа подаётся на центробежную очистку – в последовательно соединённые полнопоточные масляные центрифуги 9. После чего оно сливается в ёмкость 8. Третьей ступенью очистки является магнитная очистка для удаления из масла мелкодисперсных металлических продуктов износа. Масло из ёмкости 8 насосом 2 подаётся под давлением 0,1 МПа в магнитный очиститель 10. Пройдя через постоянный магнит, масло сливается в ёмкость 8 для сбора очищенного масла. Четвёртая ступень очистки масла – фильтрация, которая происходит в фильтрующем элементе 11 [2, 3]. Качество очистки масла предложенной установкой после четвертой ступени очистки не ниже товарного масла.

Особенности сельскохозяйственного производства требуют применения простых, надёжных и эффективных методов продления срока службы масел, заливаемых в двигатели внутреннего сгорания. Отработанные минеральные масла очищают различными методами с использованием разнообразных технических средств [4]. Широкое применение получили технические средства очистки отработанных масел в силовых полях. К ним относят различного рода центрифуги и сепараторы.

Центрифуги работают следующим образом. Отработанное минеральное моторное масло заливают в ёмкость для отстоя масла, в ней масло нагревается с помощью тэна до температуры 100...105⁰ С. Происходит осаждение механических примесей и испарение лёгких топливных фракций и воды. После отстоя механические примеси сливают в отдельную ёмкость. Данный процесс является первой ступенью очистки. Затем с помощью шестерённого насоса масло подают на вторую ступень очистки – полнопоточные масляные центрифуги под давлением 0,3 мПа, регулируемым дросселем-расходомером. Кратность прохода очищаемого масла через центрифуги зависит от степени его загрязнения [7].

На рисунке 3 представлена установка для очистки моторного масла, в которой применяются картонные и войлочные фильтры.

Установка работает следующим образом. После отстаивания очищаемое масло подается по трубопроводу 6 с помощью гидромотора 7 в фильтрующее устройство 3 под давлением 0,4 МПа, которое контролируется по манометру 4. В фильтрующем устройстве масло проходит через два

фильтра: картонный и войлочный. После очистки масло сливается через сливной трубопровод 2 в емкость для сбора очищенного масла [3].

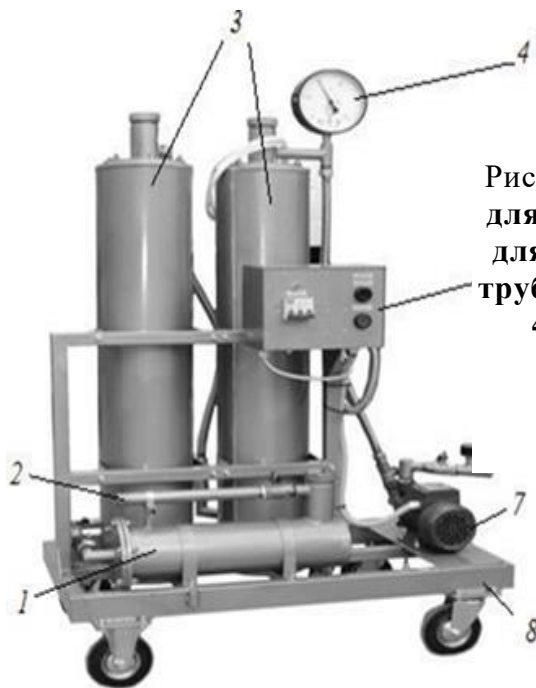


Рисунок 3 – Экспериментальная установка для очистки моторного масла: 1 – емкость для сбора очищенного масла; 2 – сливной трубопровод; 3 – фильтрующее устройство; 4 – манометр; 5 – пульт управления; 6 – подающий трубопровод; 7 – гидромотор; 8 – тележка

В завершение отметим, что созданием и производством установок для очистки масел активно занимаются фирмы Швейцарии, Германии, Франции, Турции, США, Японии и Кореи [10]. Разумеется, что для дальнейшего совершенствования отечественных установок весьма полезно изучить опыт работы этих стран в названной сфере деятельности.

Таким образом, в условиях сельскохозяйственного производства наиболее целесообразно применение простых и в тоже время универсальных установок для очистки отработанных моторных масел. К ним можно отнести установки, представленные на рисунках 2 и 3. Эти установки обеспечивают достаточное качество очистки масел и могут быть смонтированы в сельскохозяйственных предприятиях при использовании только отечественных комплектующих изделий.

Выводы:

1. В условиях сельскохозяйственного производства наиболее целесообразно применение простых и в тоже время универсальных установок для очистки отработанных моторных масел.

2. На основе изучения литературных источников выявлены, по крайней мере, две отечественные экспериментальные установки для очистки отработанных моторных масел, которые, на наш взгляд, можно рекомендовать для практического применения и их дальнейшего совершенствования. Первая из них – универсальная и стационарная, технологический процесс которой включает в себя несколько методов очистки масла. Вторая – передвижная, обеспечивающая очистку масла при

применении картонных и войлочных фильтров. Эти установки обеспечивают достаточное качество очистки масел и могут быть смонтированы в сельскохозяйственных предприятиях при использовании только отечественных комплектующих изделий.

Список литературы

1. Горбунова Т.Л. Особенности утилизации отработанных масел на основе регенерации, рециклинга и сжигания / Т.Л. Горбунова, В.Н. Хабардин // Национальная научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием, «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК». – п. Молодежный, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ 16-17 марта 2023.
2. Замальдинов М.М. Многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел: монография/ М. М. Замальдинов. - Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, 2012. – 207с.
3. Замальдинов М.М. Модульная линия очистки отработанных минеральных моторных масел от загрязнений / М.М. Замальдинов, А.А. Глущенко // Известия Санкт – Петербургского государственного аграрного университета. – 2010. – №20. – С. 306 – 311.
4. Керученко Л.С. Совершенствование очистки моторных масел применительно к ремонтным сельскохозяйственным предприятиям: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Л.С. Керученко. – Омск, 1986. – 202 с.
5. Колесниченко В.В. Экономия топливо-смазочных материалов при эксплуатации строительных машин / В.В. Колесниченко. – М.: Строиздат, 1987. – 94 с.
6. Методические указания по организации сбора, очистки и рациональному использованию отработавших моторных масел в сельскохозяйственном предприятии. Тамбов: ВИИТиН, 1992. – 55 с.
7. Молочников Д.Е. Центробежная очистка светлых нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, П.Н. Аюгин // Молодежь и наука XXI века. Материалы III-й Международной научно-практической конференции – Омск: Издательство Омского ГАУ, 2010. – С. 81-84.
8. Новиков А.Е. Очистка отработанных моторных масел от микронных и субмикронных частиц в сверхцентрифуге / А.Е. Новиков, А.Б. Голованчиков, М.И. Филимонов, Д.А. Баранов // Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса. – 2019. – № 1 (53). – С. 264-272.
9. Розбах О.В. Экспресс-диагностика качества высокощелочных моторных масел способом «капельной пробы»: дис. ... канд. техн. наук / О.В. Розбах. – Новосибирск, 2006. – 137 с.
10. URL: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-175-pechi-truby/156.htm>.

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 (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 89500809286, e-mail: HabardinV@mail.ru).

Горбунова Татьяна Леонидовна – к.т.н., старший преподаватель кафедры технического сервиса и общепрофессиональных дисциплин инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89149409674, g.tatyana68@mail.ru).

Шелкунова Наталья Олеговна – аспирантка инженерного факультета ИрГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89041238456, n.shelkunova@yandex.ru).

УДК
АНАЛИЗ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАКТОРОВ
ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Соколова Д.В., Чубарева М.В.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. При техническом обслуживании тракторов используются средства и инструменты, которые должны иметь приспособленность к тракторам. Поэтому анализ средств технического обслуживания тракторов отечественного производства весьма актуален в настоящее время. Целью является произвести анализ средств технического обслуживания тракторов отечественного производства следующих марок: К-744, Агромаш 180ТК по видам ТО. В статье рассмотрели следующие виды технического обслуживания такие как: ежесменное техническое обслуживание; периодические технические обслуживания. Были отобраны тракторы отечественного производства К-744, 180ТК и проведен анализ используемых средств ТО каждому виду технического обслуживания. Анализ средств технического обслуживания показал, что при выполнении ТО используют в основном средства и приборы, представленные на отечественном рынке. Следует отметить, что современные средства, которые имеют электронные приспособления не так сильно отличаются по стоимости от отечественных. Так как современные средства в основном у иностранных производителей, и в связи с происходящими событиями, в том числе по импорту, можно усовершенствовать уже имеющиеся средства технического обслуживания с учетом ресурсосбережения.

ANALYSIS OF MEANS OF MAINTENANCE OF DOMESTIC TRACTORS

Sokolova D.V., Chubareva M.V.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Annotation. When servicing tractors, means and tools are used that must be adapted to tractors. Therefore, the analysis of the means of maintenance of tractors of domestic production is very relevant at the present time. The purpose is to analyze the means of maintenance of domestically produced tractors of the following brands: K-744, Agromash 180TK by types of maintenance. The article considered the following types of maintenance such as: shift maintenance; periodic maintenance. Tractors of domestic production K-744, 180TK were selected and an analysis of the maintenance tools used for each type of maintenance was carried out. The analysis of technical maintenance tools showed that when performing maintenance, they mainly use tools and devices presented on the domestic market. It should be noted that modern tools that have electronic devices do not differ so much in cost from domestic ones. Since modern facilities are mainly from foreign manufacturers, and in connection with ongoing events, including imports, it is possible to improve existing maintenance facilities, taking into account resource saving.

Введение.

Поддержание тракторов сельскохозяйственного назначения в исправном состоянии в весенне-осенний период полевых работ в большей степени зависит от комплекса профилактических мероприятий, называемых техническим обслуживанием (ТО). От того, насколько своевременно и качественно будет проводится техническое обслуживание тракторов, зависит их работоспособность

в весенне-осенний период полевых работ. При техническом обслуживании тракторов используются средства и инструменты, которые должны иметь приспособленность к тракторам. Поэтому анализ средств технического обслуживания тракторов отечественного производства весьма актуален в настоящее время [1].

Целью является произвести анализ средств технического обслуживания тракторов отечественного производства следующих марок: К-744, Агромаш 180ТК по видам ТО (ЕТО, ТО-, ТО-2, ТО-3).

Материалы и оборудование.

В данной работе, мы рассмотрели следующие виды технического обслуживания такие как: ежесменное техническое обслуживание (ЕТО); периодические технические обслуживания (ТО-1, ТО-2, ТО-3). Были отобраны тракторы отечественного производства К-744, 180ТК и проведен анализ используемых средств ТО каждому виду технического обслуживания.

К средствам технического обслуживания относятся технологическое оборудование и сооружения, предназначенные для выполнения всех видов технического обслуживания и повышения его качества, снижения трудовых и временных затрат, что в целом способствует повышению технической готовности и более рациональному использованию машин [2, 3].

Средства ТО бывают: стационарные; передвижные и переносные.

К стационарным средствам ТО можно отнести стационарные пункты ТО, имеющие стационарное оборудование и стенды [2, 3].

К передвижным средствам ТО относятся агрегаты технического обслуживания (АТО). В литературных источниках можно найти следующие марки агрегатов ТО: АТО-9966А на базе автомобиля ГАЗ-66-01; АТО-9966-04 на базе ГАЗ-52-04; АТО-9994 на базе автомобиля ГАЗ-3309; ПАТОР (ПАТОР-А, ПАТОРЭУ и ПАТОР-С) и др. При этом наибольшее распространение получили агрегаты на базе автомобиля АТО-9994. На всех агрегатах ТО содержатся диагностические средства (комплекты) для проведения диагностирования в объеме ТО-1 и ТО-2 тракторов и комбайнов [4,5].

К переносным средствам ТО относятся слесарный инструмент, переносные диагностические средства и приборы.

Результаты и обсуждение.

Полученный анализ средств технического обслуживания тракторов отечественного производства представляется в виде таблицы для тракторов К-744 и Агромаш 180ТК.

Таблица 1 – Анализ средств ТО по видам и операциям технического обслуживания для трактора К-744

Виды ТО	Операции ТО трактора К-744	Средства ТО
1	2	3

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

ЕТО	<ul style="list-style-type: none"> - очистить места на тракторе, подлежащие обслуживанию, от пыли и грязи; - проверить состояние трактора наружным осмотром, и при необходимости устранить неисправности; - проверить уровень охлаждающей жидкости; масло в двигателе; - проверить состояние двигателя наружным осмотром; - проверить уровень заправки хладагентом; - проверить шланги на наличие повреждений; - продуть электромагнитную муфту сжатым воздухом для удаления пыли; - проверить работу механизмов управления трактором, работу тормозов, стеклоочистителей, приборов освещения и сигнализации, гидравлических систем навесного устройства и управления поворотом; - после остановки двигателя сразу же проверить на слух работу турбокомпрессора и фильтра центробежной очистки масла двигателя. 	<p>Техническая щетка; обтирочная ветошь; маслозаправочный агрегат или ведро; воронка; ключ 17; вставка с головкой 14; ключ 24; линейка со шкалой 0-300 мм. Моечная машина для наружной мойки (например ОМ-5285).</p>
ТО-1	<p>ТО-1 проводят при обязательном предварительном проведении операций ЕТО.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Осмотреть и обмыть трактор; - промыть фильтр центробежной очистки масла двигателя; - заменить фильтрующие элементы и промыть корпуса фильтров гидробака; - заменить масло в системе смазки двигателя; - слить конденсат из воздушных баллонов; - проверить натяжение приводных ремней; - проверить ход штоков тормозных камер рабочих тормозов; - проверить блокировку пуска двигателя при включенной передаче; - проверить состояние шин и давление воздуха в них; - смазать необходимые устройства. 	<p>Ключи 22, 24, 27; шинный манометр МД-214; шланг со штуцером для накачивания шин; торцовый ключ 11; линейка; канистры и поддоны.</p>
ТО-2	<p>ТО-2 проводят при обязательном предварительном проведении операций ТО-1.</p>	<p>Ключи 12, 14, 17, 19; стеклянная трубка; резиновая груша; термометр с ценой деления 0,2°С, ареометр; набор гаечных</p>

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

	<p>- Слить: конденсат из воздушных баллонов из топливных фильтров грубой и тонкой очистки топлива по 0,1 л топлива; ход штоков тормозных камер; натяжение приводных ремней; угол опережения впрыска топлива; блокировку пуска двигателя при включенной передаче;</p> <p>- проверьте уровень электролита, состояние клемм и вентиляционных отверстий в пробках аккумуляторных батарей (при необходимости долейте дистиллированную воду);</p> <p>- смажьте необходимые устройства.</p>	<p>ключей слесарного инструмента.</p>	и
ТО-3	<p>ТО-3 проводят при обязательном предварительном проведении операций ТО-2.</p> <p>- Проверить фильтр коробки передач, сапуны коробки передач ведущих мостов, односкоростного редуктора МОМ, фильтр центробежной очистки масла двигателя.</p> <p>- Заменить фильтрующие элементы и промойте корпуса фильтров.</p>	<p>Ключ 14, 19; техническая щетка; противень; емкость с дизельным топливом; отвертка; плоскогубцы.</p>	

Таблица 2 – Анализ средств ТО по видам и операциям технического обслуживания для трактора Агромаш 180ТК

Виды ТО	Операции ТО трактора Агромаш 180ТК	Средства ТО
ЕТО	<p>Осмотреть и обмыть трактор.</p> <p>Слить:</p> <p>- конденсат из воздушных ресиверов;</p> <p>- отстой из топливного бака основного двигателя;</p> <p>- отстой из фильтра-отстойника бензобака пускового двигателя;</p> <p>- промыть фильтрующие элементы масляных фильтров основного двигателя.</p> <p>- провести обслуживание электрооборудования;</p> <p>- проверить и при необходимости отрегулируйте натяжение ремней генератора и компрессора;</p> <p>- смазать необходимые детали;</p> <p>- прогреть и прослушайте основной двигатель, убедитесь, что показания контрольных приборов находятся в рекомендуемых пределах, а системы</p>	<p>Техническая щетка; обтирочная ветошь; амперметр, ключи для натяжения, отвертка. Моечная машина для наружной мойки (например ОМ-5285).</p>

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

	освещения, сигнализации и механизмы управления поворотом трактора работают нормально.	
ТО-1	Операции ТО-1; - провести обслуживание воздухоочистителей; - проверить и при необходимости отрегулировать зазоры; - заменить масло с промывкой картеров и сапунов; - очистить, промыть или заменить фильтры; - проверьте комплектность трактора, отсутствие подтекания топлива, масла, охлаждающей жидкости, утечек воздуха и при необходимости подтяните крепление.	Ключи гаечные 14, 27; пассатижи; отвертка; моечная ванна; обтирочная ветошь; канистры и поддоны.
ТО-2	Операции ТО-2; - провести обслуживание воздухоочистителей; - проверить и при необходимости отрегулируйте зазоры; - заменить масло с промывкой картеров и сапунов; - очистить, промыть или заменить фильтры; - проверить комплектность трактора, отсутствие подтекания топлива, масла, охлаждающей жидкости, утечек воздуха и при необходимости подтянуть крепление.	Ключи гаечные 14, 27; пассатижи; отвертка; моечная ванна; обтирочная ветошь; рукоятка для проворачивания коленчатого вала; канистры и поддоны.
ТО-3	Операции ТО-3: - провести обслуживание электрооборудования: - очистить поверхности аккумуляторной батареи, клемм, наконечников, проводов и вентиляционные отверстия в пробках; - снять, промыть, проверить состояние и установите на место: - проверить головку с клапанами компрессора; регулятор давления воздуха компрессора; предохранительный клапан; пневмосистемы; - заменить масло с промывкой.	Стеклянная трубка; ареометр; обтирочная ветошь; антифриз; ключи гаечные; отвертка.

Выводы.

Таким образом, средства для выполнения технического обслуживания тракторов существенно не изменились. При выполнении ТО используют в основном средства и приборы, представленные на отечественном рынке. Следует отметить, что современные средства, которые имеют электронные

приспособления не так сильно отличаются по стоимости от отечественных. Так как современные средства в основном у иностранных производителей, и в связи с происходящими событиями, в том числе по импорту, можно усовершенствовать уже имеющиеся средства технического обслуживания с учетом ресурсосбережения.

Список литературы

1. Берденников Е. А. Повышение эффективности использования тракторного парка на основе учета индивидуальных показателей надежности: дис... канд. техн. наук: 05.20.03 / Евгений Алексеевич Берденников. СПб.; Пушкин, 2001. 109 с.
2. Учеб. пособие. /Бердышев В.Е., Цепляев А.Н., Шапров М.Н. и др. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» Саратов, 2010,220с.:ил. ISBN 5-7011-0490-7.
3. https://www.sinref.ru/000_uchebniki/05300_traktora/031_traktora_kirovec_k744r_k744r1_k744r2_k744r3_instrukcia/000.htm
4. Хабардин В.Н. Современные агрегаты технического обслуживания машин и их анализ / В.Н. Хабардин, М.В. Чубарева, А.В. Хабардина, С.И. Базарон // [Вестник ИрГСХА](#). 2014. - № 65. - С. 101-110.
5. Чубарева М.В. Средства технического обслуживания машин и проблема их выбора / В.Н. Хабардин // В сборнике: Техника и технологии инженерного обеспечения АПК. материалы IV-го Регионального научно-производственного семинара "Чтения И. П. Терских". Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Иркутская государственная сельскохозяйственная академия ; редколлегия: П. И. Ильин председатель. Иркутск, 2011. - С. 45-49.

УДК 633.1:621.396

РОЛЬ КОМБИНАТОРНЫХ МЕТОДОВ В ПОДГОТОВКЕ СЕМЕННОГО ФОНДА

Бузунова М.Ю., Антропова Д.С., Заборовская А.Э.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Общеизвестна значимая роль электротехнологической обработки семян, как стимулятора роста и энергии прорастания зерна. В работе проведен эксперимент по применению комбинаторного метода обработки семенного материала на примере пшеницы, ячменя и овса, состоящего из двух последовательных этапов: воздействие электромагнитным полем сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) с последующим замачиванием в биоактивном растворе на 24 часа. В качестве биоактивного раствора использовались три контрольные субстанции (раствор карбамида, гумата и комплексного удобрения). Проведен комплексный анализ полученных экспериментальных данных и сравнение с данными для контрольного образца, не подверженного вышеуказанной обработке. Установлено, что грамотный подбор дозировки и длительности СВЧ воздействия, наряду с обработкой удобрениями, оказывает выраженное стимулирующее воздействие на всхожесть и скорость роста зерновых. Обоснована экономическая целесообразность методики. Кроме того предложенный метод способствует гибели патогенной микрофлоры и влияет на сохранность будущего урожая. Установлено, что наиболее хорошие результаты на всхожесть и активность роста зерна дает применение (наряду с СВЧ воздействием) гумата. Азотное и комплексное удобрение в среднем показали менее значимый эффект.

Ключевые слова: поле СВЧ, пшеница, ячмень, овес, зерновые, всхожесть, гумат, карбамид.

THE ROLE OF COMBINATORIAL METHODS IN PREPARATION SEED FUND

M.Y.Buzunova, D.S. Antropova, A.E. Zaborovskaya

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The significant role of electrotechnological seed treatment as a stimulator of growth and energy of grain germination is well known. In this work, an experiment was carried out on the use of a combinatorial method for processing seed material using the example of wheat, barley and oats, consisting of two successive stages: exposure to an electromagnetic field of microwave frequency (EMF microwave) followed by soaking in a bioactive solution for 24 hours. Three control substances were used as a bioactive solution (solution of carbamide, humate and complex fertilizer). A comprehensive analysis of the obtained experimental data and comparison with the data for the control sample, not subject to the above processing, was carried out. It has been established that a competent selection of the dosage and duration of the microwave exposure, along with the treatment with fertilizers, has a pronounced stimulating effect on the germination and growth rate of cereals. The economic feasibility of the technique is substantiated.

In addition, the proposed method contributes to the death of pathogenic microflora and affects the safety of the future crop. It has been established that the best results on germination and grain growth activity are obtained by the use (along with microwave exposure) of humate. Nitrogen and complex fertilizers on average showed a less significant effect.

Keywords: microwave field, wheat, barley, oats, cereals, germination, humate, carbamide.

Программа перспективного развития сельскохозяйственного производства страны и региона в целом предъявляет определенные требования к оптимизации способов и методов обработки семенного фонда в целях получения высокого урожая зерновых, полностью удовлетворяющего потребности АПК. Важная роль при этом отведена внедрению в производство научно обоснованных приёмов адаптивной агротехники [2], с учетом современных достижений в области семеноводства и селекции [1] и методик расчета внесения оптимальной дозы удобрений [9], позволяющих повысить урожайность зерновых. Учитывая климатические особенности выращивания зерна на территории Восточной Сибири с возможными осенними заморозками, зерновой фонд может быть незрелым, поэтому его необходимо подвергать сушке при оптимальном температурном режиме и оптимизации диэлектрических потерь [6,7]. В этом случае особенно важно проводить обработку посевного материала при помощи доступных современных электротехнологических методик, таких как ЭМП СВЧ, достаточно подробно описанное в современных литературных источниках [3,4,8]. Электрофизические свойства зерновых рассмотрены в работе [5]. Предложенная обработка быстродейственна, экономит энергоресурсы и затраты на посевной материал, вследствие его экономного использования за счет повышения всхожести.

Задача исследований в данной работе установить влияние СВЧ воздействия на всхожесть зерновых культур, подверженных предварительной обработке удобрениями, при мощности облучения 90 Вт/дм^3 и вариации длительности облучения от 1 до 10 с. Подготовлены контрольные группы образцов овса, пшеницы и ячменя по 100 зерен в каждой. После облучения зерно на 24 часа помещалось в эксикатор с растворами карбамида, гумата, комплексного удобрения и воды соответственно.

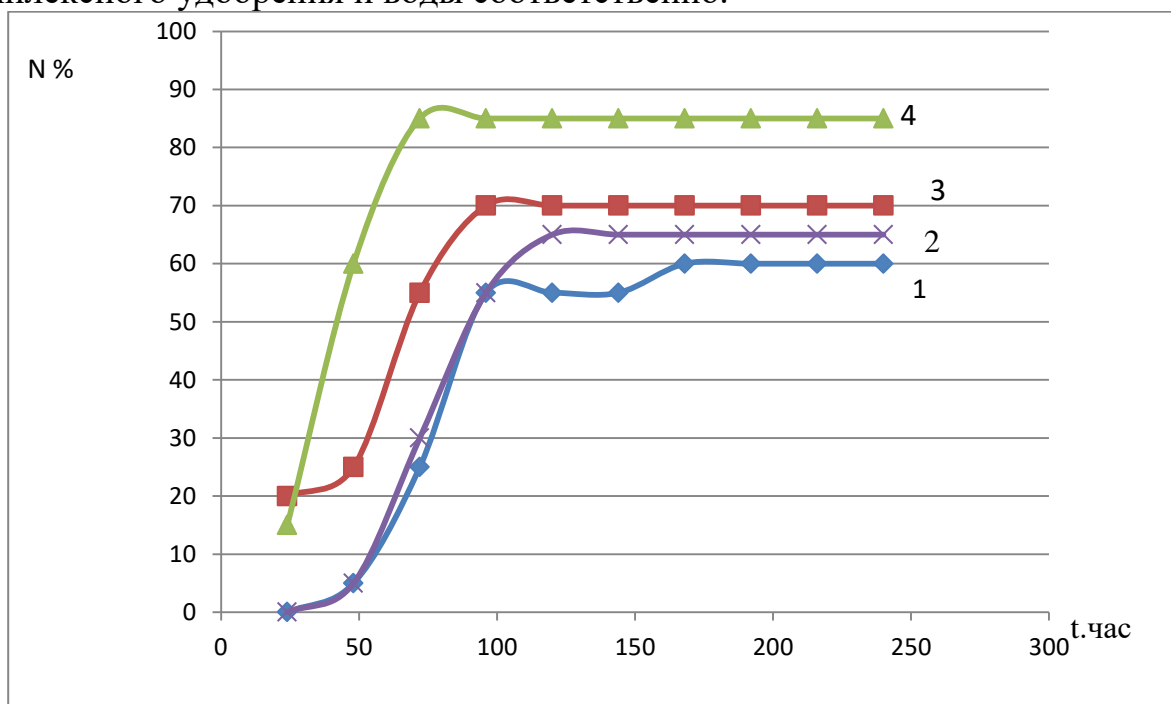


Рисунок 1 – Количество взошедших зерен овса для длительности облучения 5 с: 1-образец без удобрения, 2- комплексное удобрение, 3- карбамид, 4- гумат.

Затем зерно высаживалось в отдельные кюветы для проращивания. Исследовалась всхожесть контрольных образцов для длительности облучения 1,3,5,7 и 10 с. и проводилось измерение соответствующей длины отростков через каждые 24 часа в течение 12 дней.

Для исследования использована микроволновая печь LG MB4042U.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлена зависимость количества взошедших зерен овса для длительности облучения 5 с для 3 контрольных образцов, подверженных СВЧ воздействию при мощности 90 Вт/дм^3 , в сравнении с контрольным образцом №1, не обработанным СВЧ полем и удобрением. Анализ полученных данных позволил установить тенденцию к повышению всхожести зерна в среднем на 13-15% при обработке СВЧ полем и биоактивным раствором. Наилучший результат получен при обработке гуматом (всхожесть возросла в среднем на 15%). Для комплексного удобрения соответственно на 5%, а для карбамида на 10%. Все экспериментальные данные сравнивались с данными контрольной группы, не подверженной обработке.

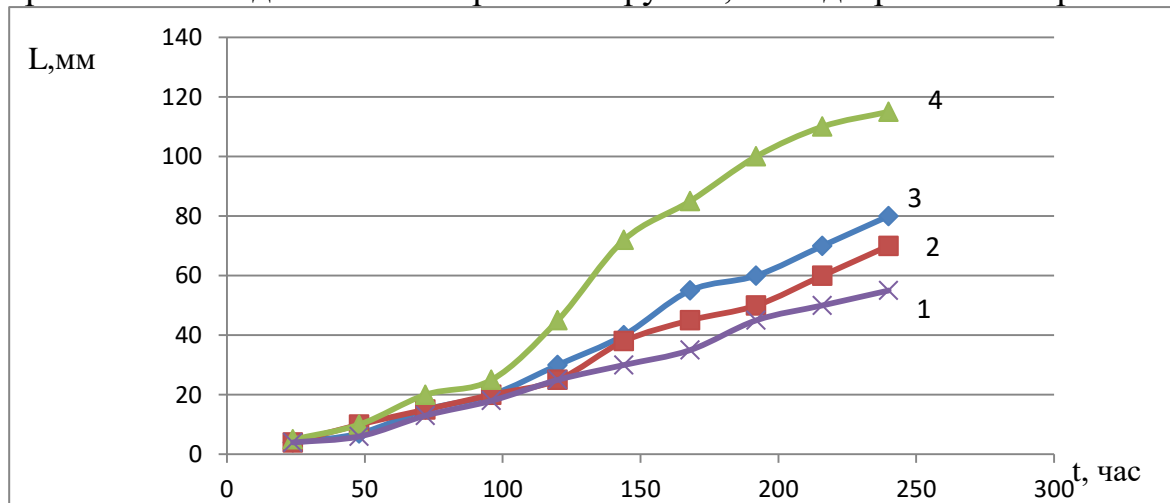


Рисунок 2 – Длина ростков ржи для длительности СВЧ воздействия 3 с: 1-для контрольного образца, 2- для карбамида , 3- для комплексного удобрения,4- для гумата.

На рис.2 представлена зависимость длины ростков ржи для длительности облучения 3 с для контрольного необработанного образца, для карбамида, комплексного удобрения и для гумата. Сравнение позволяет сделать предварительный вывод о наибольшей скорости роста для образца, обработанного гуматом длина ростков которого через 10 дней от начала эксперимента превышает контрольный образец в среднем в 2 раза. Вариабельность длины ростков для других образцов менее заметна и не превышает в среднем 20%.

Таким образом, анализ эксперимента, проведенного для вышеотмеченных зерновых культур, позволяет сделать предварительный вывод о повышении лабораторной всхожести семян, подверженных воздействию ЭМП СВЧ и увеличению скорости роста. Анализ гистограмм скорости роста и всхожести зерновых подтверждает наличие положительного эффекта от применения

биоактивного раствора (карбамида, гумата и комплексного удобрения) как стимулятора роста .

Выводы. Проведенный эксперимент позволяет подтвердить стимулирующую роль ЭМП СВЧ воздействия как активатора всхожести для семейства мятликовых. А дополнительное применение биологически активных субстанций в качестве удобрения при подготовке семенного фонда позволяет существенно повысить всхожесть зерновых, что в настоящее время является экономически целесообразным и позволяет экономить семенной фонд [11]. Наиболее значимое влияние на всхожесть и активность роста зерна дает применение (наряду с СВЧ воздействием) гумата. Азотное и комплексное удобрение в среднем показали менее значимый эффект.

Список литературы.

1. Агрэкологические основы селекции и семеноводства полевых культур в Предбайкалье / Ш. К. Хуснидинов, Т. Г. Кудрявцева, Г. А. Крутиков [и др.] ; Иркутская государственная сельскохозяйственная академия; Главное управление сельского хозяйства Иркутской области. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2005. – 415 с.
2. Актуальные приёмы адаптивной агротехники полевых культур для устойчивого развития земледелия в Иркутской области : Научно-практические рекомендации / Н. Н. Дмитриев, В. И. Солодун, Ф. С. Султанов [и др.] ; Иркутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства; Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. – Иркутск : ООО "Мегапринт", 2019. – 232 с.
3. Барышев, М.Г. Воздействие электромагнитных полей на биохимические процессы в семенах растений/М.Г. Барышев, Г.И. Касьянов.//Пищевая технология. -2002. -№ 1. -С. 21-23.
4. Бастрон, А.В. Обработка семян СВЧ энергией / А.В. Бастрон, А.А. Василенко, А.В. Заплетина, Р.А. Зубова, А.В. Исаев, М.В. Горелов // Сельский механизатор. 2017. № 4. С. 16 - 17.
5. Бузунова, М. Ю. Электрофизические свойства дисперсных сред на примере зерновых / М. Ю. Бузунова // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 81-1. – С. 75-80.
6. Бузунова, М. Ю. Диэлектрические потери при термической обработке дисперсных сред / М. Ю. Бузунова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 6(155). – С. 1223-1231.
7. Бузунова, М. Ю. Анализ температурно-частотного воздействия на диэлектрические потери в зерновой среде / М. Ю. Бузунова // iPolytech Journal. – 2021. – Т. 25, № 6(161). – С. 733-740. – DOI 10.21285/1814-3520-2021-6-733-740
8. Бузунова, М. Ю. Влияние СВЧ воздействия на всхожесть тритикале / М. Ю. Бузунова // Вестник ИрГСХА. – 2022. – № 110. – С. 6-14. – DOI 10.51215/1999-3765-2022-110-6-14..
9. Кидин, В. В. Урожайность озимой пшеницы и коэффициент использования азотного удобрения в зависимости от подкормки аммиачной селитрой / В. В. Кидин, А. Г. Замираев, Н. Н. Дмитриев // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 1990. – № 2. – С. 55-62.
10. Логачев, А. В. Исследование влияния режимов предпосевной обработки семян зеленных культур СВЧ-энергией на лабораторную всхожесть / А. В. Логачев, А. В. Заплетина, А. В. Бастрон // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 1(124). – С. 77-84.
11. Technology of microwave treatment of camelina seeds and its economic efficiency / A. V. Bastron, N. G. Filimonova, A. V. Meshcheryakov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia, 13–14 ноября 2019 года /

Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 22065. – DOI 10.1088/1755-1315/421/2/022065.

Сведения об авторах

Бузунова Марина Юрьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электрооборудования и физики энергетического факультета (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89500557333, e-mail: bmirk@mail.ru).

Антропова Дарья Сергеевна - студентка 4 курса энергетического факультета (664007, Россия, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 59, тел. 89996848243, e-mail: antropova.darya.da@gmail.com

Заборовская Анастасия Эдуардовна – студентка 4 курса энергетического факультета, (664007, Россия, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 59, тел 89834441917, e-mail: dobroduaheva01@mail.ru).

УДК 635.64:664.8.047

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И СУШКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Быкова С.М., Алтухов И.В., Очиров В.Д.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Сушеная продукция, полученная из свежего сельскохозяйственного урожая, отличается высокими питательными свойствами, служит полуфабрикатом для предприятий пищеконцентратной промышленности и общественного питания. В работе представлена информация по технологической обработке и сушке измельченного сельскохозяйственного сырья растительного происхождения в сушильном шкафу с керамическими инфракрасными нагревателями. Разработаны и апробированы структурная схема технологии получения сушеных продуктов и аппаратурно-технологическая схема производства сушеных продуктов. В ходе проведения экспериментальных исследований был произведен анализ температурных режимов сушки сельскохозяйственной продукции на примере картофеля, моркови, свеклы и томатов. Использование осциллирующего режима сушки «нагрев-охлаждение» позволяет сократить время сушки и максимально сохранить полезные вещества. Упаковка готовых продуктов осуществляется вакуумным упаковщиком. В сушеной продукции, полученной путем сушки свежих овощей в сушильных шкафах с инфракрасными нагревателями, на 90 % сохраняется витаминный и минеральный состав свежего продукта, увеличивается срок хранения готовой продукции до 6-9 месяцев. Полученные продукты можно использовать при приготовлении специй, соусов, супов. Данная продукция может быть рекомендована в туризме и в кулинарии для увеличения ассортимента.

Ключевые слова: сельскохозяйственная продукция, сушка, инфракрасный нагрев, пищевые добавки.

TECHNOLOGICAL PROCESSING AND DRYING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Bykova S.M., Altukhov I.V., Ochirov V.D.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Dried products obtained from fresh agricultural crops are distinguished by high nutritional properties and serve as a semi-finished product for food concentrate industries and catering. The paper presents information on the technological processing and drying of crushed agricultural raw materials of plant origin in a drying cabinet with ceramic infrared heaters. A block diagram of the technology for obtaining dried products and an apparatus-technological scheme for the production of dried products have been developed and tested. In the course of experimental studies, an analysis was made of the temperature regimes of drying agricultural products using the example of potatoes, carrots, beets and tomatoes. The use of the oscillating mode of drying "heating-cooling" allows you to reduce the drying time and maximize the preservation of useful substances. Packing of finished products is carried out by a vacuum packer. In dried products obtained by drying fresh vegetables in drying cabinets with infrared heaters, the vitamin and mineral composition of the fresh product is preserved by 90%, and the shelf life of finished products is increased up to 6-9 months. The resulting products can be used in the preparation of spices, sauces, soups. These products can be recommended in tourism and in cooking to increase the range.

Key words: agricultural products, drying, infrared heating, food additives.

В России и мире переработка или консервирование собранного сельскохозяйственного урожая направлены на сохранение в них витаминов, минеральных веществ и подготовку к использованию в пищу без длительной кулинарной обработки. При переработке и консервировании в продуктах прекращаются биохимические процессы, и подавляется фитопатогенная микрофлора, тем самым происходит обеззараживание продукта и увеличивается срок сохранности.

Одной из востребованных технологий переработки является тепловая обработка и сушка сельскохозяйственной продукции.

Для тепловой обработки и сушки применяют различные способы и технические средства. В последние десятилетия для сушки продукции широкое применение получила инфракрасная сушка. Сушильные установки, работающие на принципе применения инфракрасного излучения, имеют высокий коэффициент полезного действия, оборудование надежно и просто в эксплуатации и управлении, имеет небольшие удельные показатели энергопотребления, применяемый способ сушки является экологически чистым.

В этой связи разработка новой технологии сушки измельченных плодов и совершенствование рецептов по применению сушеной продукции в кулинарии являются весьма актуальными задачами.

Качество и себестоимость сушеной сельскохозяйственной продукции зависят от способа уборки, хранения, подготовки к сушке, режима сушки, расфасовки, упаковки и условий хранения готовой продукции [14].

Сушеная продукция, полученная из свежего сельскохозяйственного урожая, отличается высокими питательными свойствами, служит полуфабрикатом для предприятий пищевого концентратной промышленности и общественного питания.

Структурная схема технологии и аппаратно-технологическая схема производства сушеных продуктов представлены на рисунках 1 и 2 [4, 6,13].



Рисунок 1 – Структурная схема технологии получения сушеных продуктов

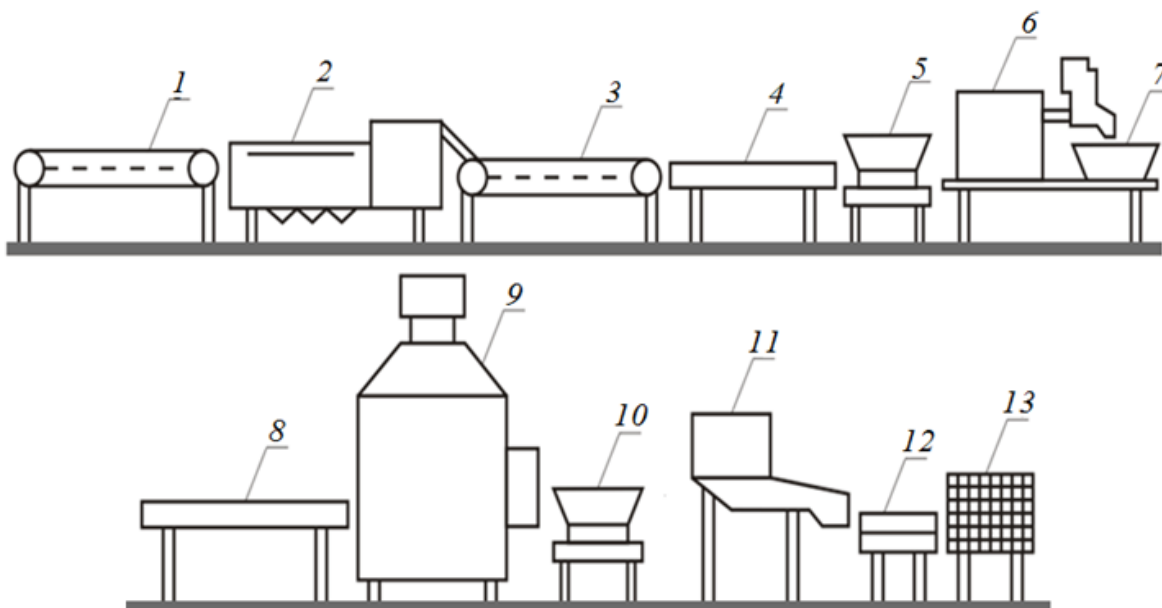


Рисунок 2 – **Аппаратурно-технологическая схема производства сушеных продуктов**

1 – ленточный транспортер; 2 – машина мойки и очистки сырья; 3 – инспекционный транспортер; 4 – стол для доочистки сырья; 5 – стол с весами; 6 – плодоовощерезка; 7 – емкость для измельченного сырья; 8 – стол для раскладки сырья в пищевые лотки; 9 – инфракрасный сушильный шкаф; 10 – стол с весами; 11 – бункер готового продукта; 12 – вакуумный упаковщик; 13 – контейнеры с готовой продукцией

Транспортировка свежих овощей до места переработки проводится в чистых, сухих, без постороннего запаха, не зараженных сельскохозяйственными вредителями транспортных средствах. Поступившие для переработки овощи хранят в чистых, сухих, не зараженных сельскохозяйственными вредителями, без постороннего запаха, хорошо вентилируемых, охлаждаемых помещениях.

Перед отправлением на инфракрасную обработку и сушку продукты от места хранения по ленточному транспортеру 1 поступают на мойку. Удаление с поверхности овощей различных загрязнений достигается при мойке проточной водой, поступающей из водопровода и соответствующей требованиям СанПиН 2.1.4.1074, СанПиН 2.1.4.1116 [11, 12]. Мойка происходит в специальных ваннах 2 или под струей воды из душевых насадок.

Инспекция проводится на транспортере 3 и на столе для доочистки 4 и включает в себя просмотр и отбраковку непригодных овощей, а также вырезку поврежденных участков плодов, полученных при сборе и хранении. Сортируют продукцию по качеству, зрелости, окраске, и калибруют по форме и размеру. Для качественного инспектирования все овощи необходимо рассматривать со всех сторон.

Для взвешивания применяют весы 5 для статического взвешивания среднего класса точности с наибольшим пределом взвешивания 25 кг, ценой поверочного деления 50 г и пределом допускаемой погрешности ± 25 г.

Перед нарезкой необходимо вырезать след от плодоножки и произвести их взвешивание продукции. Разрезание на различные формы, в основном это

дольки, кружочки или стружка, проводится с помощью плодоовощерезок или обычным кухонным ножом. После нарезки измельчённую продукцию размещают на пищевые лотки (поддоны).

Сушка сельскохозяйственной продукции, а именно: картофеля, томатов, моркови, свеклы и лука, производится в сушильных шкафах марки «Универсал СД-4». Внешний вид, характеристика, система управления и принцип работы сушильного шкафа представлены в работах [1-3].

Инфракрасная обработка и сушка влажных материалов является не только теплотехническим, но технологическим процессом, в котором изменяются технологические свойства свежих овощей. Оптимальный режим инфракрасной сушки должен определяться технологическими свойствами продукта и закономерностями их изменения при удалении влаги и при воздействии теплового потока [7].

В ходе экспериментов исследован ступенчатый режим ИК-сушки томатов. Использование ступенчатого режима сушки позволяет минимизировать ухудшение технологических характеристик готового продукта, сократить время сушки и сохранить в большей степени термолабильные вещества.

Инфракрасная обработка и сушка при достижении установленной температуры в каждой температурной зоне ступенчатого режима проводилась в осциллирующем режиме «нагрев – охлаждение» (рис. 3). Необходимость сочетания нагрева материалов ИК-лучами с охлаждением его воздухом для сохранения питательных веществ и витаминов в процессе сушки растительного сырья рекомендована и обоснована работами акад. Лыкова А.В., акад. Рогова И.А., Рудобашта С.П., Алтухова И.В., Худоногова И.А. [5, 9, 10, 15].

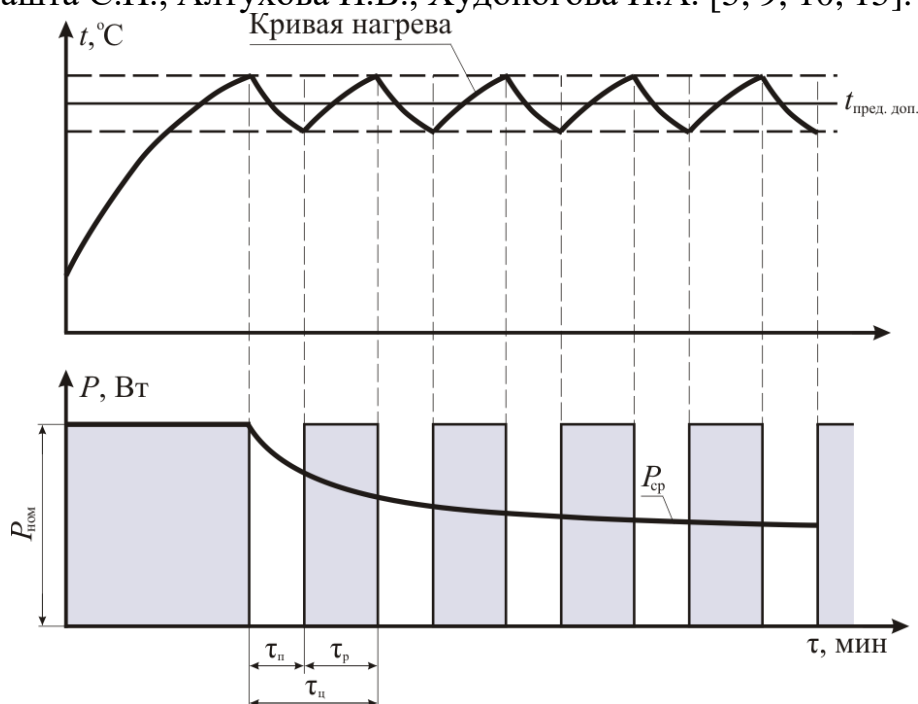


Рисунок 3 – Осциллирующий способ ИК-энергоподвода

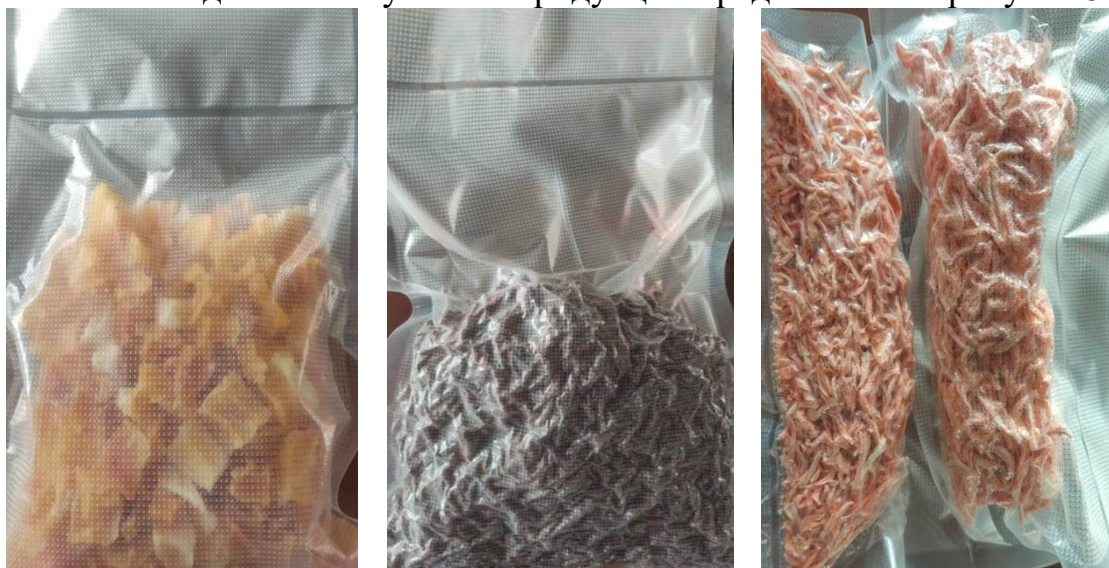
Упаковка готовых продуктов осуществляется вакуумным упаковщиком 12 типа Clatronic FS 3261 (рис. 4).



Рисунок 4 – Вакуумный упаковщик Clatronic FS 3261

Прибор Clatronic FS 3261 предназначен для герметичной упаковки пищевых продуктов в полиэтиленовый пакет с предварительным удалением воздуха из пакета, что способствует увеличению срока годности продукта, сохранению его внешнего вида, вкуса, запаха и витаминного состава.

Внешний вид готовой сушеной продукции представлен на рисунке 5.



а) картофель

б) свекла

в) морковь

Рисунок 5 – Внешний вид сушеной сельскохозяйственной продукции

В сушеной продукции, полученной путем инфракрасной обработки и сушки свежих овощей в сушильных шкафах с инфракрасными нагревателями, на 90 % сохраняется витаминный и минеральный состав свежего продукта и увеличивается срок хранения готовой продукции до 6-9 месяцев. Полученные продукты можно использовать при приготовлении специй, соусов, супов. Данная продукция может быть рекомендована в туризме и в кулинарии для увеличения ассортимента.

Список литературы

1. Алтухов И.В. Влияние ИК-излучения на качественные показатели томатного порошка / И.В. Алтухов, С.М. Быкова, А.М. Свиная // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 11 (176). – С. 205-211.
2. Алтухов И.В. Влияние режимов импульсной инфракрасной обработки и сушки томатов на биотехнические условия нагрева / И.В. Алтухов, С.М. Быкова // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 10 (151). – С. 132-138.

3. *Алтухов И.В.* Обоснование режимов ИК-энергоподвода в технологии сушки моркови: монография / *И.В. Алтухов, В.Д. Очиров, В.А. Федотов*; Иркут. с.-х. акад. – Иркутск, 2013. – 97 с.

4. *Алтухов И.В.* Способ получения порошков из сельскохозяйственных культур / *И.В. Алтухов, С.М. Быкова, Н.Н. Бураева, А.М. Свиарева* // Научно-практические аспекты развития АПК: мат. нац. науч. конф. (Красноярск, 12 ноября 2020 года). – Красноярск: Изд-во ФГБОУ ВО КрасГАУ, 2020. – С. 7-10

5. *Алтухов И.В.* Технология получения концентрированных сахаросодержащих продуктов с использованием импульсной инфракрасной обработки и сушки корнеклубнеплодов: дис. ... доктора технических наук: 05.18.01 / *Алтухов Игорь Вячеславович*. – Иркутск, 2016. – 440 с.

6. *Алтухов И.В.* Технология получения сушёных томатов / *И.В. Алтухов, С.М. Быкова, В.А. Федотов, В.Д. Очиров* // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: мат. IX нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Молодежный, 23-24 сентября 2021 года). – пос. Молодёжный: Изд-во ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 2021. – С. 105-111.

7. *Волончук С.К.* Теоретическое обоснование и практическое применение инфракрасного излучения в технологии сушки растительного сырья / *С.К. Волончук* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2011. – № 9-10 (222). – С. 116-123.

8. *Лыков А.В.* Теория сушки / *А.В. Лыков*. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

9. *Рогов И.А.* Физические методы обработки пищевых продуктов / *И.А. Рогов, А.В. Горбатов*. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 583 с

10. *Рудобашта С.П.* Организация осциллирующего режима ИК-сушки зерна с помощью информационно-измерительной и управляющей системы / *С.П. Рудобашта, С.А. Проничев* // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 8. – С. 72-75.

11. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Минздрав России, 2002. – 62 с.

12. СанПиН 2.1.4.1116-02. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. – М.: Минздрав России, 2002. – 17 с.

13. *Свиарева А.М.* Технология получения томатного порошка и область его применения / *А.М. Свиарева, С.М. Быкова* // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: мат. всеросс. студ. науч.-практ. конф. (Молодежный, 17-18 февраля 2022 г.). – пос. Молодежный: Изд-во ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 2022. – Том IV. – С. 301-305.

14. *Филоненко Г.К.* Сушка пищевых растительных материалов / *Г.К. Филоненко, М.А. Гришин, Я.М. Гольденберг, В.К. Коссек*. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 440 с.

15. *Худоногов И.А.* Ресурсосберегающие методы управления ИК-энергоподводом в процессах производства оздоровительного чая: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.02 / *Худоногов Игорь Анатольевич*. – Красноярск, 2009. – 414 с.

Сведения об авторах

Быкова Светлана Михайловна – старший преподаватель кафедры энергообеспечения и теплотехники энергетического факультета (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89041216961, e-mail: bsm2212@mail.ru).

Алтухов Игорь Вячеславович – доктор технических наук, доцент.(89500505500, e-mail: altukhigor@yandex.ru).

Очиров Вадим Дансарунович – заведующий кафедрой энергообеспечения и теплотехники энергетического факультета, к.т.н., доцент (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89501205411, e-mail: ochirov@igsha.ru).

УДК 681.51; 636.03; 621.316

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Клибанова Ю.Ю., Барахтенко Р.Е., Гусаров А.Е.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,
п. Молодежный, Иркутский район, Россия

Информационно-коммуникационные технологии активно укрепляются во всех отраслях народного хозяйства. В том числе очень быстрыми темпами растет потребность технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве. В животноводстве использование роботизированных комплексов позволяет управлять всеми процессами на ферме в автоматическом режиме без участия человека. Непрерывное наблюдение за параметрами микроклимата в животноводческом помещении позволяет руководителям агропромышленного комплекса в короткие сроки принять обоснованное решение, направленное на оптимизацию механизмов контроля системы управления микроклиматом. В данной работе рассмотрен опытный образец интеллектуальной системы наблюдения за показателями, характеризующими микроклимат животноводческой фермы. Подобраны компоненты устройства, интеллектуальные измерительные модули, датчики, способные работать в условиях окружающей среды животноводческого помещения, выдерживая различные изменения температуры, влажности воздуха и концентрации газов, а также доступные по цене. Инструментом интеллектуальной системы выбрана вычислительная платформа Arduino, состоящая из смонтированных плат с микроконтроллерами и дополнительных модулей, а также специальной среды разработки для написаний скетчей и прошивки. Сбор информации осуществляется через точку Wi-Fi, к которой подключаются все устройства отделения.

Ключевые слова: цифровые технологии, микроклимат, животноводство

EXPERIMENTAL SAMPLE OF INTELLIGENT SYSTEM FOR MEASURING MICROCLIMATE PARAMETERS OF A LIVESTOCK HOUSE

Klibanova Yu.Yu., Barakhtenko R.E., Gusarov A.E.

*Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, p. Molodezhny, Irkutsk district,
Russia*

Information and communication technologies are being actively strengthened in all sectors of the national economy. In particular, the need for artificial intelligence technologies in agriculture is growing at a very fast pace. In animal husbandry, the use of robotic complexes allows you to manage all processes on the farm in automatic mode without human intervention. Continuous monitoring of the microclimate parameters in the livestock building allows the leaders of the agro-industrial complex to make an informed decision in a short time, aimed at optimizing the control mechanisms of the microclimate control system. In this paper, we consider a prototype of an intelligent monitoring system for indicators characterizing the microclimate of a livestock farm. The components of the device, intelligent measuring modules, sensors were selected that can work in the environmental conditions of a livestock building, withstanding various changes in temperature, air humidity and gas concentration, and are also affordable. The Arduino computing platform, consisting of mounted boards with microcontrollers and additional modules, as well as a special development environment for writing sketches and firmware, was chosen as an intelligent system tool. Information is collected through a Wi-Fi point, to which all department devices are connected.

Keywords: digital technologies, microclimate, animal husbandry

Введение

Усиление продовольственной безопасности Российской Федерации, в частности Иркутской области, является одной из актуальных и приоритетных задач аграрного сектора [6]. Современные технологии создают огромные возможности для глобализации, трансформации и развития агропромышленного комплекса. Составляющими информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) являются аппаратные средства информационных устройств, а также интеллектуальные компьютерные системы, которые осуществляют сбор, хранение, накопление, обработку и передачу данных. [5, 8, 9, 10]. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) позволяют сельхозтоваропроизводителям принимать обдуманные решения относительно оптимизации в режиме реального времени, а также повысить производство, переработку и реализацию сельскохозяйственной и животноводческой продукции [1]. Информационно-коммуникационные технологии активно применяются для реализации умного животноводства. Умная ферма это роботизированный сельскохозяйственный комплекс, позволяющий управлять всеми процессами на ферме в автоматическом режиме без участия человека [2, 4, 13, 15]. На сегодняшний день во всем мире интенсивно исследуются все аспекты умного животноводства. Начиная с 2016 года, наиболее активно цифровые технологии применяются на фермах крупного рогатого скота, свинофермах и птицефабриках [13]. В основном использование интеллектуальных систем было направлено на сбор, обработку, оценку и анализу данных поведения животных, мониторинга их заболеваемости, оценки их роста, наблюдения окружающей среды. Интеллектуальная система управления производством молочных ферм представляет огромный комплекс, содержащий автоматизированные системы, направленные на оценку количества, качества и состава кормов, для приготовления и раздачу полнорационных кормосмесей, для доения, обеззараживания биоматериалов, микроклимата помещения. Кроме того разрабатываются датчики и программно-аппаратные средства для оценки активности поголовья крупного рогатого скота в режиме реального времени с помощью IoT-оборудования, которое устанавливается на животном [4, 13, 14]. Виртуальная система на свиноферме позволяет контролировать температуру, что способствует увеличению прироста и снижению энергозатрат. На птицефермах ИИ способствует контролю уровня воды и продуктов питания цыплят. Главная цель умного животноводства заключается в том, чтобы с помощью интеллектуальных систем осуществлять контроль климата внутри ферм, а также предпринять корректирующие действия, если климатические условия не соответствуют нормам.

Использование цифровых технологий, таких как «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) [3, 7] дают возможность мониторинга и управления микроклиматическими параметрами животноводческих помещений, а также позволяют улучшить жизненные условия и снизить затраты на электроэнергию. К основным характеристикам микроклимата животноводческого помещения относятся температура, влажность, газовый (химический) состав воздуха, освещенность. [11, 12, 8]. Диагностика значений температуры и относительной

влажности в животноводческом помещении является основной функцией, позволяющей контролировать систему управления микроклиматом. Также необходимо отслеживание параметры состояние внешней среды, обусловленными сезонными, либо суточными метеорологическими изменениями, такими как температура наружного воздуха, изменения влажности, количества осадков и т.д.

В данной работе представлен образец интеллектуальной системы измерения параметров микроклимата животноводческой фермы, созданный на кафедре электрооборудования и физики Иркутского ГАУ. За основу была взята ранее разработанная на кафедре автоматизированная система диагностики микроклимата в животноводческих комплексах [8].

Опытный образец интеллектуальной системы измерения микроклиматических параметров животноводческого помещения

На рисунке 1а показана функциональная схема опытного образца интеллектуальной системы измерения микроклиматических параметров животноводческого помещения. Измерительная часть системы состоит из трех датчиков. Датчик температуры и относительной влажности воздуха DH22. Этот датчик способен измерять значения температур от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$, влажности от 0% до 100%. Датчик освещённости BH1750 чувствителен к видимому свету и не подвержен влиянию инфракрасного излучения. Датчик газа MQ-135. Данный датчик способен определять качество воздуха, а также количества аммиака в воздухе. Измерения производятся в миллионных долях (1 ppm = 0,0001% – количество частиц газа на миллион частиц воздуха). Диапазон измерения концентрации: аммиак (10 ppm – 300 ppm), бензин (10 ppm – 1000 ppm), спирт (10 ppm – 300ppm).

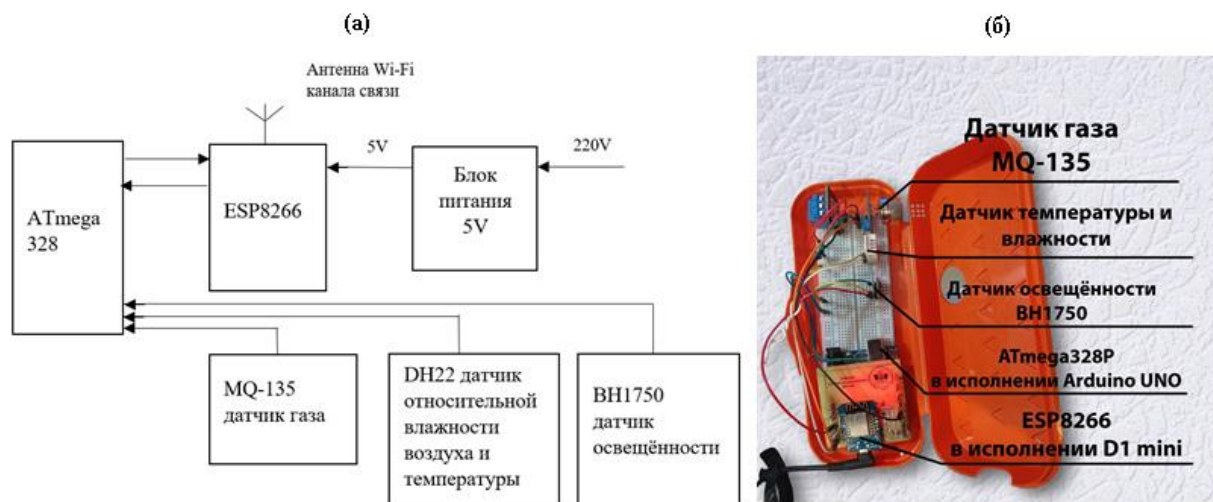


Рисунок 1 – Функциональная схема (а), внешний вид и компоненты (б) опытного образца интеллектуальной системы измерения микроклиматических параметров животноводческого помещения

Имеется блок питания, который преобразует переменный ток электрической сети напряжением 220 В из розетки в постоянный ток с напряжением 5 В.

Опытный образец (прототип) электронного устройства собран на макетной плате из диэлектрика. Внешний вид устройства представлен на рисунке 2б. Внутри корпуса расположены датчик температуры и влажности воздуха, датчик освещенности, датчик газа, а также микроконтроллеры ESP8266 и ATmega328p. Скetch написан в среде разработки Arduino. Микроконтроллер ATmega328p ежесекундно проверяет показания с датчиков и отправляет их на ESP8266. Микроконтроллер ESP8266 обрабатывает данные и отправляет их на веб страницу. Таким образом, показания с датчиков могут отправляться по сети Wi-Fi на веб страницу, которую можно открыть через любой web-браузер, как на смартфоне, так и на персональном компьютере. На рисунке 2 представлены результаты тестовых измерений опытного образца качества воздуха (CO_2 , ppm) влажности (ϕ , %) и температуры (t , $^{\circ}\text{C}$) в жилом помещении площадью $7,7 \text{ м}^2$ в течение 30 минут.

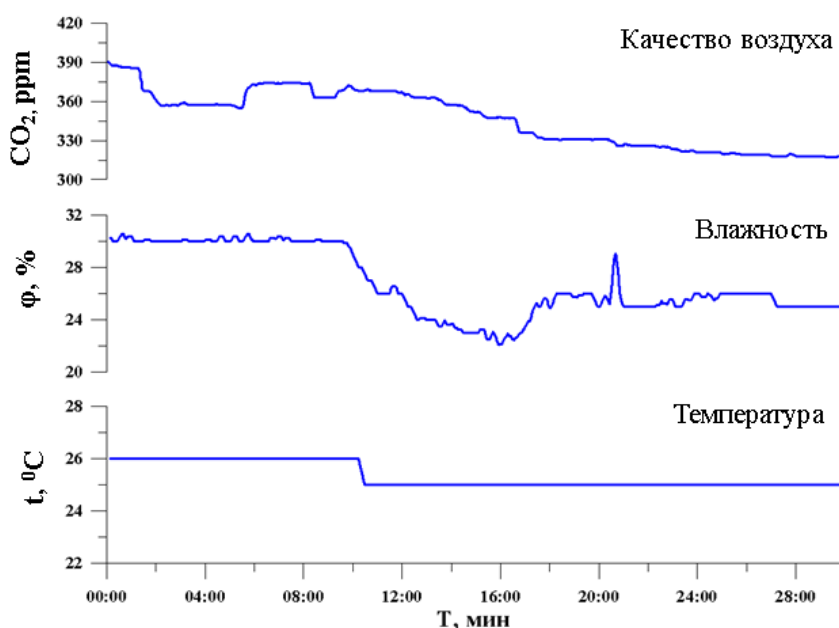


Рисунок 2 – Параметры микроклимата жилого помещения

В дальнейшем планируется настройка процессов сбора, хранения, передачи и анализ данных, полученных от устройства. Кроме того разрабатывается приложение, позволяющее отслеживать изменения показателей микроклимата за более длительный период в режиме реального времени. Предполагается проведение первых испытаний на базе учебной фермы Иркутского ГАУ, а также в производственных помещениях.

Список литературы

1. Боровская Е. В. Основы искусственного интеллекта / Боровская Е.В., Давыдова Н.А., - 3-е изд., (эл.) - М.:Лаборатория знаний. – 2016. – 130 с.
2. Лебёдкин П.А., Степаненко Д.А.. Возможности и риски развития умных животноводческих ферм // Стратегии Бизнеса. – 2022. – Т. 10. № 10. <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-10-256-258>
3. Росляков А.В., Ваяшин С.В., Гребешков А.Ю. Интернет вещей: учебное пособие / – Самара: ПГУТИ. – 2015. – 200 с.

4. Цой Ю.А, Баишева Р.А. Технологические аспекты создания «умной» молочной фермы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока 2019; 20(2):192-199 <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199>
5. Лошкарёв С. В., Кузнецов Б. Ф., Клибанова Ю. Ю. Интеллектуальная система контроля микроклимата теплицы // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК» – Молодежный: Изд-во Иркутского ГАУ.– 2020. – С. 48-54
6. Павлов С.А. Самообеспечение продовольственной продукцией Иркутской области // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти А.А. Ежевского «Проблемы и перспективы устойчивого развития Агропромышленного комплекса» – Молодежный: Изд-во Иркутского ГАУ.– 2022. – С. 315-320
7. Жирков А. Интернет вещей и облачные технологии Eurotech // Современные технологии автоматизации. – 2015. – № 2.
8. Клибанова Ю. Ю. Разработка автоматизированной системы диагностики микроклимата в животноводческих комплексах / Клибанова Ю. Ю., Гамаюнов И. Е. // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса» – Молодежный: Изд-во Иркутского ГАУ.– 2020. – С. 170-177
9. Клибанова Ю.Ю. Проекты и разработки в области цифрового сельского хозяйства, реализуемые на энергетическом факультете Иркутского ГАУ / Клибанова Ю.Ю., Б.Ф. Кузнецов // Актуальные вопросы аграрной науки. Изд-во Иркутского ГАУ.– 2019.– №.31 – С. – 56–63
10. Клибанова Ю.Ю. Технологии искусственного интеллекта на службе сельского хозяйства / Клибанова Ю.Ю., Б.Ф. Кузнецов // Материалы международной научно-практической конференции «Цифровые технологии и системы в сельском хозяйстве» – Молодежный: Изд-во Иркутского ГАУ. – 2019. – С. – 62–67.
11. Arulmozhi E., Basak J.K., Sihalath T., Park J., Kim H.T., Moon B.E. Machine Learning-Based Microclimate Model for Indoor Air Temperature and Relative Humidity Prediction in a Swine Building // Animals. 2021, 11, 222. <https://doi.org/10.3390/ani11010222>
12. Vrzhashch E.E. Physics of the microworld /E.E. Vrzhashch, Yu.Yu. Klibanova // Publishing house: LAP LAMBERT (Dusseldorf, Germany), 2021. 55 p. EDN: XPTPGS
13. Bao J., Xie Q. Artificial intelligence in animal farming: A systematic literature review // Journal of Cleaner Production. V. 331, 2022, P. 129956 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129956>
14. Kim G. M. A Case Study on Smart Livestock with Improved Productivity after Information and Communications Technologies Introduction // International Journal of Advanced Culture Technology V. 1.9 No.1, 2021. P. 177-182 <https://doi.org/10.17703/IJACT.2021.9.1.177>
15. Park J. K. and Park E. Y. Animal Monitoring Scheme in Smart Farm using Cloud-Based System // ECTI-CIT Transactions, V. 15, No. 1. 2020. P. 24–33. <https://doi.org/10.37936/ecti-cit.2021151.240087>

Сведения об авторах

Клибанова Юлия Юрьевна – к. физико-мат. наук, доцент, доцент каф. физики и электрооборудования ИрГАУ, г. Иркутск (664038, Иркутская обл., Иркутский р-он, п.Молодежный 1/1), тел. 89086473947, e-mail: malozemova81@mail.ru)

Барахтенко Роман Евгеньевич - студент 4 курса, энергетического факультета, направление подготовки 35.03.06 - Агроинженерия. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н., пос. Молодежный, e-mail: barahtenko.roman@mail.ru)

Энергетическое обеспечение производства аграрной продукции

Гусаров Алексей Евгеньевич – студент 4 курса энергетического факультета, направления подготовки 35.03.06 – «Агроинженерия». Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н., пос. Молодежный, тел 89500934910, e-mail: fine.gusarov@yandex.ru).

УДК 621.316

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Кудряшев Г. С., Шпак О.Н.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Основным вопросом в научной работе является присутствие нелинейной нагрузки в системе электроснабжения. Проведён общий анализ действующих электрических сетей Иркутской области. Увеличение количества и мощности нелинейных потребителей повышает уровень высших гармоник в сети, что негативно влияет на такой показатель качества электроэнергии, как синусоидальность напряжения. Энергетики всё чаще сталкиваются с такой проблемой как искажение напряжения в электрической сети. Источниками искажения формы синусоидальности напряжения и тока являются синхронные генераторы, силовые трансформаторы, соответственно параметры таких устройств имеет ряд отклонений от номинальных значений предусмотренные ГОСТом 32144-13. Представлены графики коэффициентов синусоидальности фазных напряжения трансформаторных подстанций. Таким образом экспериментальные исследования дают возможность выбрать способ для уменьшения искажения формы синусоидальности напряжения и тока. При неблагоприятном влиянии несинусоидальности возникают дополнительные потери в электрооборудовании, сокращается срок службы эксплуатации электрических машин из-за старения изоляции и т.д. Наличие параметров гармонических составляющих тока и напряжения определяет уровень даже в сетях высокого напряжения. Один из способов снижения уровня высших гармоник это фильтр компенсирующее устройство, выполняет функции симметрирования напряжения. Обработка данных измерений необходима, для дальнейшей научно-исследовательской работы.

Ключевые слова: Электрические нагрузки, показатели качества электроэнергии, несинусоидальность напряжения.

ESTIMATION OF NONLINEAR LOAD PARAMETERS IN DISTRIBUTION NETWORKS.

G, S Kudryashov, .O.N. Shpak

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The main issue in the scientific work is the presence of a nonlinear load in the power supply system. A general analysis of the existing electric networks of the Irkutsk region is carried out. An increase in the number and power of nonlinear consumers increases the level of higher harmonics in the network, which negatively affects such an indicator of the quality of electricity as voltage sinusoidal. Power engineers are increasingly faced with such a problem as voltage distortion in the electrical network. The sources of distortion of the sinusoidal shape of voltage and current are synchronous generators, power transformers, respectively, the parameters of such devices have a number of deviations from the nominal values provided by Gost 32144-13. Graphs of the sinusoidal coefficients of phase voltages are presented. Thus, experimental studies make it possible to choose a method to reduce the distortion of the sinusoidal shape of voltage and current. With the unfavorable influence of non-sinusoidality, additional losses occur in electrical equipment, the service life of electric machines is shortened due to aging insulation, etc. The presence of parameters of harmonic components of current and voltage determines the level even in high voltage networks. One of the ways to reduce the level of higher harmonics is a filter compensating device that performs the

functions of voltage symmetry. The processing of measurement data is necessary for further research work.

Keywords: Electrical loads, power quality indicators, non-sinusoidal voltage.

За последние время увеличение электрических нагрузок наблюдается за счёт количества используемого электротехнического оборудования. За 2022 год потребление электрической энергии в России увеличилось на 1,5 % по сравнению с показателями за 2021 год и составило 1,11трл.кВт*ч. Для сельскохозяйственных объектов используется оборудование с нелинейной нагрузкой это газоразрядные лампы, установки электродуговой и контактной сварки, приборы, имеющие в своем составе преобразователи переменного тока в постоянный (выпрямители), системы бесперебойного питания, преобразователи частоты двигатели с регулируемой скоростью вращения и т.д. Дополнительно строятся новые объекты в населённых пунктах это детские сады, школы, жилые дома и т.д. соответственно требуется увеличение протяжённости линии электропередач.[2] Несинусоидальность напряжения характеризуется такими параметрами как коэффициент гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $Ku(n)$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передаче электрической энергии; суммарный коэффициент гармонических составляющих(отношение среднеквадратичного значения суммы всех гармонических составляющих до40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей) Ku , % в точке передачи электрической энергии.

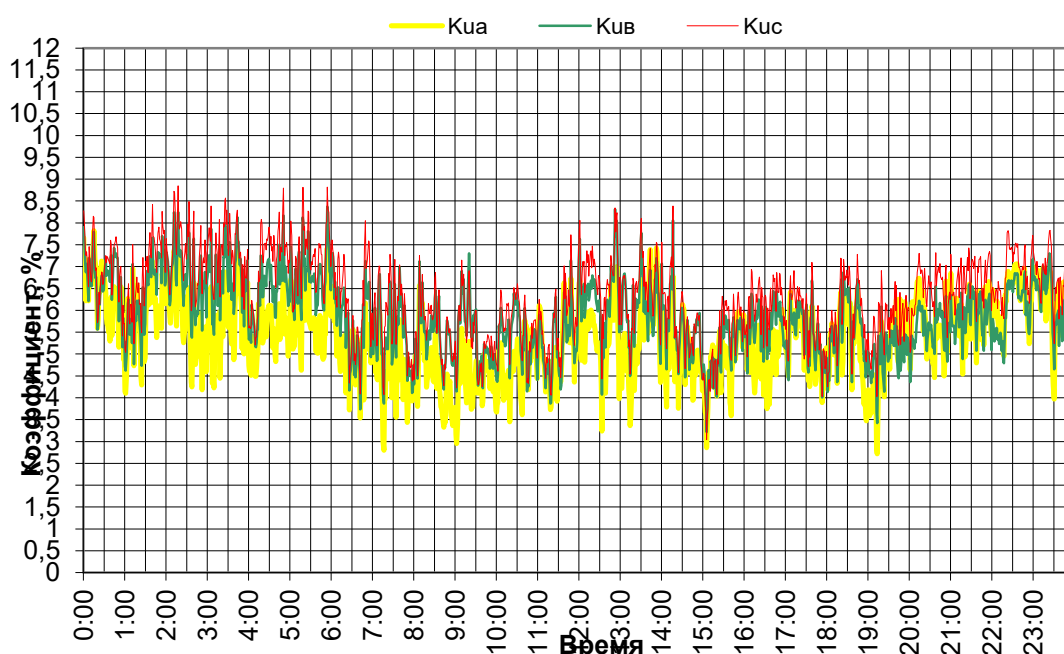


Рисунок 1 – График коэффициентов искажения синусоидальности фазных напряжений Эдучанка ТП-14

Целью данной работы является исследование основных параметров определяющие качество электроэнергии согласно ГОСТа 32144-13 и создания базы данных показателей качества электроэнергии для статистической обработки. Существенное изменение нагрузки в сельских районах приводит к

отклонению основных параметров напряжения и тока. [3] Отклонение напряжения на выводах приёмника составляет $\pm 10\%$ от номинального напряжения - это соответственно отражается на работе электрооборудования. Например, если экспериментальные исследования проводить на объектах АПК (птицефабрик, ферм, теплицы) то уменьшение освещённости приводит к снижению выпускаемой продукции, сокращается срока службы электродвигателей и т.д. В соответствии с этим, в программу экспериментальных исследований входило: выбор электрических сетей 0,38 кВ и подбор трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ, которые питали коммунально-бытовых электропотребителей. Повышение и снижение коэффициентов искажения кривых напряжения и тока в течение суток совпадают по времени со всплесками и спадами потребляемой мощности на характерном графике объекта. В свою очередь коэффициент искажения формы кривой напряжения изменяется с изменением коэффициента искажения формы кривой тока.[4]

Из графика видно, что искажения формы синусоидальных токов и напряжения имеют отклонения от предельно допустимых значений. Это ещё раз подтверждает причину ухудшения качества электрической энергии в электрических сетях 0,4 кВ с коммунально-бытовой нагрузкой. Протекание несинусоидального тока по элементам электрической сети создаёт на них падения напряжения от отличное от синусоидального. Изменение нагрузки в распределительных сетях приводят к потерям электрической энергии, ложным срабатыванием устройств управления защиты. [3] Необходимо не только проводить большое количество измерений, но и подготовить методическое и программное обеспечение по улучшению ПКЭ. По результатам исследования можно сказать что потребление электроэнергии сельскохозяйственных предприятий составляет 12 % в линиях 110, 35 и 10 кВ . В Иркутской области установлено, что среднее отклонение превышения нормативных значений коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения от установленных ГОСТом, составляет 0,8%, а количество случаев превышения нормально допустимых значений составляет 87%.

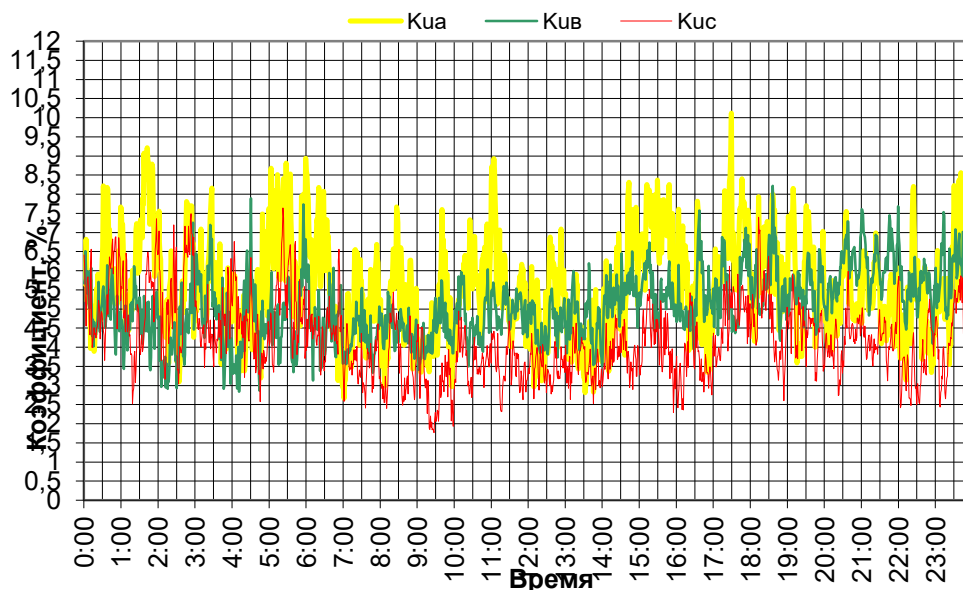


Рисунок 2 – График коэффициентов искажения синусоидальности фазных напряжений ПС Кобь ТП-62

Анализ проведённой работы показывает что, отклонение параметров искажения синусоидальности кривой напряжения в электрической сети составляет порядка от 4,1 до 7,2 %. Таким образом, необходимо использовать технические средства для уменьшения влияния несинусоидальности напряжения. Применяют разные способы это фильтровые устройства: включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), фильтросимметрирующих устройств (ФСУ), ИРМ, содержащих ФКУ, специальное оборудование, характеризующееся пониженным уровнем генерации высших гармоник, «ненасыщающиеся» трансформаторы, многофазные преобразователи с улучшенными энергетическими показателями.

Список литературы

1. Активный фильтр высших гармоник с возможностью компенсации реактивной мощности - Пат. 154184 Российская Федерация, U1 МПК H02J 3/18 / заявитель и патентообладатель ООО «ЦИТ ИрГТУ». – №2014143318/07; заявл. 27.10.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. 23.
2. Влияние несинусоидальности на работу электрооборудования предприятия агропромышленного комплекса / Третьяков А.Н., Рахмет Х., Батищев С.В.//Актуальные проблемы энергетики АПК: мат. VII международ. науч.- практ. конф.; под общей ред. Трушкина В.А., Саратовский ГАУ, 18 апреля 2016 г. – Саратов: Изд-во ООО «ЦеСАин». – С. 108-111.
3. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии. в системах электроснабжения общего назначения.
5. Исследование эффективности применения в АПК фильтрокомпенсирующих устройств /Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Батищев С.В., Шпак О.Н. // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – №4(19). – С. 233-237.

Энергетическое обеспечение производства аграрной продукции

6. Кудряшев Г. С. / Комплексный подход при ресурсоэнергосбережении на предприятиях АПК Иркутской области / Г. С. Кудряшев, А. Н. Третьяков, О. Н. Шпак // Вестник ИргТУ - 2016 № 73 С. 135 - 140.

7. Кудряшев Г. С. Технические средства для нормализации качества электрической энергии / Г. С. Кудряшев, А. Н. Третьяков, О. Н. Шпак // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: мат. всеросс. науч - практ. конф. с международ. уч., посвящ. памяти А. А. Ежевского, Иркутск, 15 - 16 ноября 2018 г. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2018.

8. Кудряшев Г. С. / Применение инноваций в решении вопросов энергосбережения на предприятиях АПК Интеллектуальные машинные технологии и техника в сельском хозяйстве / Г. С. Кудряшев, А. Н. Третьяков, С. В. Батищев // международная научно - техническая конференция, ФГНУ ФНФЦ ВИ, 12 - 13 декабря 2017 г. – М. : ФГНУ ФНФЦ ВИ, 2017.

9. Проект Государственной программы энергосбережения и повышения энергетической энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года – М. : Энергосовет № 4. - 2009. – 14 с.

Сведения об авторах

Кудряшев Геннадий Сергеевич – д.т.н., профессор кафедры энергообеспечения и теплотехники (664038, Иркутский р-он, п. Молодежный, 1, тел. 89148880030, Kudryashev@list.ru).

Шпак Оксана Николаевна – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники (664038, Иркутский р-он, п. Молодежный, 1, тел. 89027625641, e-mail: ok.shpak2015@yandex.ru).

УДК 519-7

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНОГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ НЕБОЛЬШИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОМЕТРИИ ЛОПАТОК

Репецкий О.В., Хоанг Д.К.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область

Сложность оценки прочности и эксплуатационной надежности роторов турбин связана с наличием в них высоконагруженных элементов, в которых накапливается повреждаемость от влияния центробежных сил, температурного нагрева и аэродинамического влияния. С помощью различных программ, таких как Solidworks, Ansys Workbench и Matlab высоконагруженные элементы радиального рабочего колеса могут быть смоделированы и выполнены расчеты их характеристик. Одним из способов для оценки прочности и управления ресурсом радиального рабочего колеса является введение преднамеренной расстройки. В настоящее время прогнозирование фактического ресурса радиальных колес с разными вариантами расстройки лопаток турбин является одной из основных задач при проектировании новых изделий или их эксплуатации. В данной работе конечноэлементная модель использовалась для оценки прочности и анализа ресурса радиальных колес с разными вариантами расстройки лопаток. Были исследованы последствия отрыва части верхней кромки лопаток в процессе эксплуатационной работы колеса, ресурсы колеса при изменении толщины и длины лопаток. Все полученные результаты служат повышению прочности и надежности лопаток, способствуют значительному сокращению количества дорогостоящих экспериментов необходимых для проектирования и доводки новых лопаток турбин.

Ключевые слова: метод конечных элементов, преднамеренная расстройка, радиальное рабочее колесо, ресурс, собственная частота, турбомашин.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE RESOURCE CHARACTERISTICS RADIAL WHEELS BY INTRODUCING SMALL CHANGES IN THE BLADE GEOMETRY

Repetckii O.V., Hoang Dinh Cuong

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region

The complexity of assessing the strength and operational reliability of turbine rotors is associated with the presence of highly loaded elements in them, in which damage accumulates from the influence of centrifugal forces, temperature heating and aerodynamic influence. Using various programs like Solidworks, Ansys Workbench and Matlab highly loaded elements of the radial wheel are identified and their characteristics are calculated. One way to evaluate the strength and manage the fatigue life of a radial wheel is to introduce intentional mistuning. At present, forecasting the actual resource of radial wheels with different options for misalignment of turbine blades is one of the main tasks in the design of new products or their operation. In this paper, a finite element model was used to assess the strength and analyze the resource of radial wheels with different options for misalignment of the blades. Were investigated as a result of tearing off the tip of the upper edge of the blades during the operational operation of the wheel, the resources wheel with changes in the thickness and length of the blades. All the results are directed to improve the strength and reliability of the blades, significantly reduce the number of costly experiments and required for the design of new turbine blades.

Key words: finite element method, intentional mistuning, radial wheel, resource, natural frequency, turbomachine.

Для исследования динамических характеристик и прогнозирования долговечности радиальных лопаточных дисков турбомашин МКЭ является самым эффективным инженерным средством и применен во многих научно-

практических работах [2,5,13,14]. В данной статье для исследования влияния расстройки параметров на долговечность лопаток рабочих колес турбомашин использован программный комплекс ANSYS WORKBENCH. Подобный анализ выполнен на примере радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками [6,7].

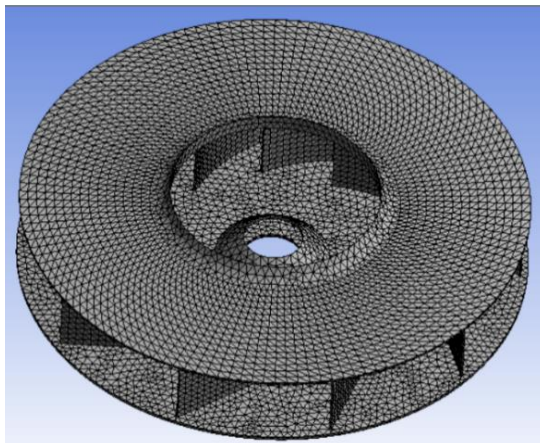


Рисунок 1 – Конечноэлементная модель радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками

Материал радиального рабочего колеса – сталь, модуль Юнга – $2.1 \cdot 10^5$ Мпа, плотность – 7850 кг/м^3 , коэффициент Пуассона – 0.3. Конструкция жестко закреплена по ободу диска. В конечноэлементной модели применяется конечный элемент TET10 программы ANSYS WORKBENCH с общим количеством конечных элементов 58382 и 115590 узловыми точками. Количество степеней свободы составляет 346770 (Рис. 1) [12].

Динамическая нагрузка от парциальности подвода пара или газа может быть определена как [3,9,11]:

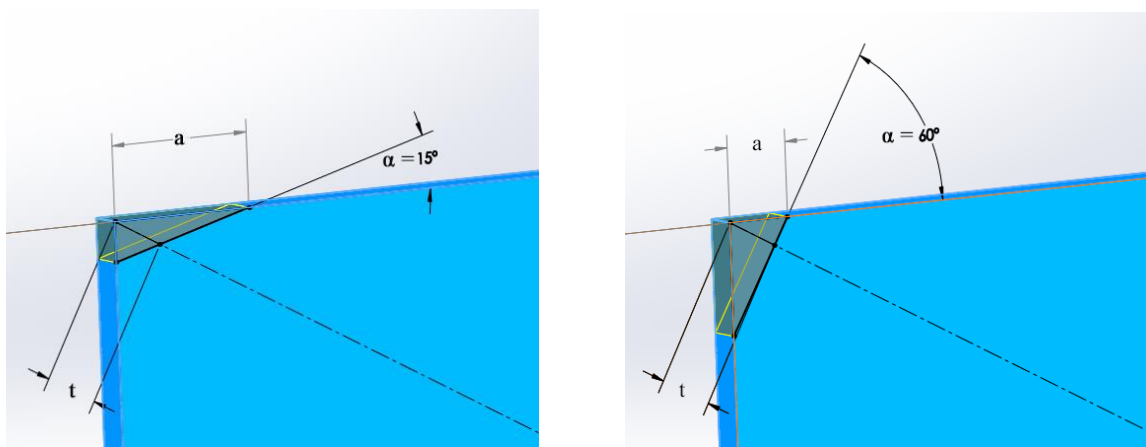
$$f_l = \frac{2P_z}{\pi} \frac{\sin(\nu\mu\pi)}{\nu}, \quad (1)$$

где ν – гармоники возбуждения, μ – расстояние между лопатками статора, P_z – аэродинамическая или газовая нагрузка, f_l – динамическая нагрузка (спектр возбуждения).

При проектировании, изготовлении и эксплуатации рабочих колес турбомашин необходимо понимать влияние расстройки параметров для управления ресурсом и обеспечения требуемого уровня прочности, надежности и долговечности радиальных турбомашин [1,4,8,10].

Анализ отрывания части верхней кромки лопаток

Для понимания влияния отрыва наконечника верхней кромки лопаток в процессе эксплуатационной работы колеса была желательна модификация, которая лишь незначительно влияет на базовую конструкцию для исследования эффекта влияния преднамеренной расстройки лопатки [6]. Для удовлетворения этого требования подходит обрезка наконечника верхней кромки лопаток (Рис. 2).



$\alpha_{\min} = 15$ град.

$\alpha_{\max} = 60$ град.

Рисунок 2 – Обрезка наконечника верхней кромки лопаток

Глубина обрезания t и расстояние “ a ” от края лопатки до места обрезки взаимодействуют между собой через угол обрезания α .

Основные параметры при обрезке наконечника верхней кромки лопаток показаны в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры при обрезке наконечника верхней кромки лопаток

Глубина t , мм	Расстояние “ a ” от края лопатки до места обрезки, мм			
	$\alpha = 15$ град.	$\alpha = 30$ град.	$\alpha = 45$ град.	$\alpha = 60$ град.
$t = 1$	2.66	1.70	1.36	1.15
$t = 2$	5.32	3.41	2.71	2.31
$t = 3$	7.97	5.11	4.07	3.46
$t = 4$	10.63	6.82	5.42	4.62
$t = 5$	13.29	8.52	6.78	5.77

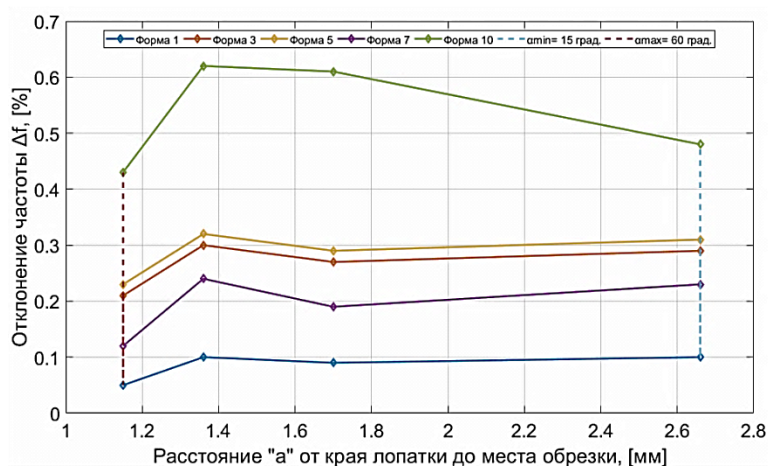


Рисунок 3 – Отклонение собственных частот с глубиной обрезания $t=1$ мм

На Рис. 3 показано, что собственные частоты увеличиваются с глубиной обрезания $t=1$ мм. Форма №10 характеризуется максимальным процентным отклонением частоты $+0.62\%$ при $\alpha=45$ градусов. А форма №1 характеризуется минимальным процентным отклонением частоты $+0.21\%$ при $\alpha=60$ градусов.

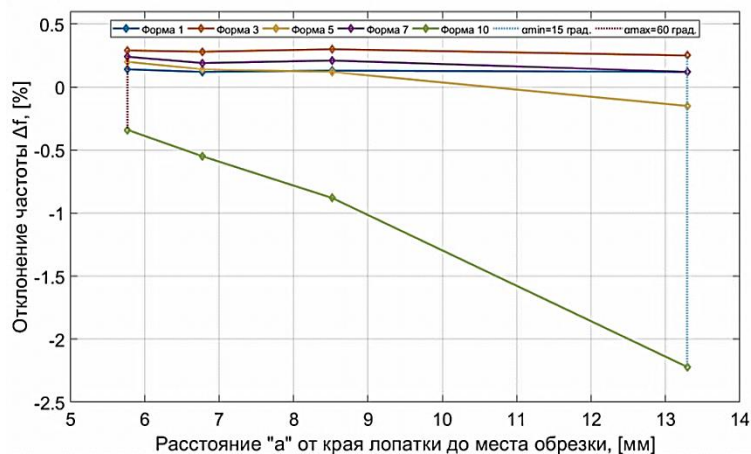


Рисунок 4 – Отклонение собственных частот с глубиной обрезания $t=5$ мм

На Рис. 4 показано процентное отклонение собственных частот с глубиной обрезания $t=5$ мм. Видно, что собственная частота колес меньше на -0.15% при $\alpha = 15$ градусов для формы №5. А все собственные частоты снижены для формы №10. Максимальное снижение собственных частот для формы 10 имеет -2.22% при $\alpha = 15$ градусов.

Из результата исследования на Рис. 3 и Рис. 4 видно, что собственные частоты радиального колеса увеличиваются с глубиной обрезания по формам 1, 3 и 7. А в формах № 5 и 10, частоты снижены при увеличении глубины обрезания (Рис. 4.). Максимальное снижение собственных частот наблюдается для формы № 10 при $\alpha=15$ градусов.

В настоящей работе исходные данные для расчета долговечности имели вид: P – статическая амплитуда распределения силы по длине лопатки равна - 100 Н, режим разгона от нуля оборотов до 60 1/с за 10 секунд. Накопление повреждений от многоциклового усталости выполнено с помощью метода дождя (Rain Flow). В качестве гипотезы напряжений применена гипотеза накопления усталостных повреждений Пальмгрен-Майнер.

Результат расчета динамической нагрузки для гармоника возбуждения равной 1 вычислен и изображен на Рис. 5. В данном случае показано, что динамическая нагрузка периодически повторяется через каждый 2,5 секунды.

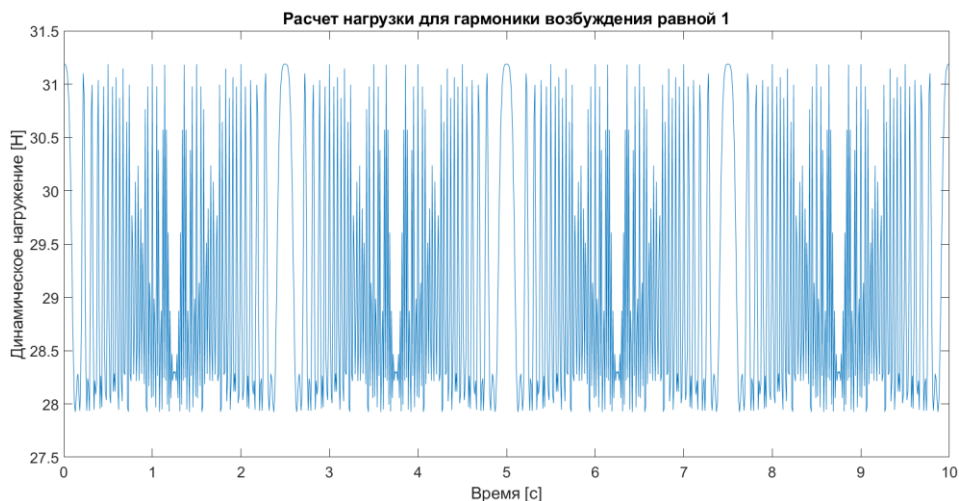


Рисунок 5 – Динамическая нагрузка возбуждения в колесе за 10 секунд



исходная лопатка

лопатка с обрезкой

Рисунок 6 – Расчет долговечности лопатки радиального рабочего колеса

На Рис. 6 показано, что поврежденная зона увеличивается при обрезании лопаток. В данном месте обрезания наблюдается максимальное повреждение и минимальное количество циклов до разрушения лопаток. Соответственно, радиальное колесо идет разрушение в этой зоне в первую очередь.

Таким образом, долговечность радиального колеса уменьшается при обрезке наконечника верхней кромки лопаток (Рис. 7). Также необходимо обратить внимание на то, что если в процессе изготовления или эксплуатационной работы колеса появляется отрыв или повреждение кромки лопаток, то радиальное колесо потеряло бы свою работоспособность, что привело бы к быстрому отказу конструкции.

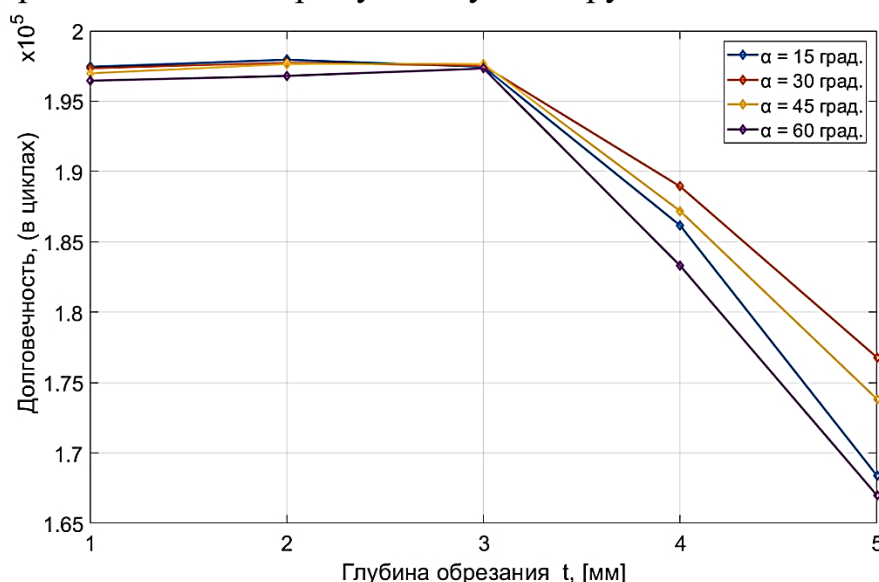


Рисунок 7 – Долговечность радиального рабочего колеса при обрезке наконечника верхней кромки лопаток

Ресурсные характеристики колеса при изменении толщины лопаток

В процессе исследования рассмотрены несколько вариантов:

- Вариант № 1: С уменьшением толщины всех лопаток на 0,2 мм;

- Вариант № 2: С увеличением толщины всех лопаток на 0,2 мм;
- Вариант № 3: С увеличением толщины по всей лопатке на 0,2 мм на середине и уменьшением на 0,2 мм на двух краях кромки на правой стороне лопатки;
- Вариант № 4: С увеличением толщины по всей лопатке на 0,2 мм на середине и уменьшением на 0,2 мм на двух краях кромки на левой стороне лопатки;
- Вариант № 5: С увеличением толщины по всей лопатке на 0,4 мм на середине и уменьшением на 0,4 мм на краях кромки на двух сторонах лопатки.

На Рис. 8 показано, что два из пяти вариантов демонстрируют повышение значения количества циклов до разрушения колеса. Анализ полученных результатов свидетельствует, что при увеличении толщины на 0.2 мм по всей лопатке на середине и уменьшении на 0.2 мм на двух краях кромки на левой стороне (Рис. 9 – Вариант №4) приводит к максимальному увеличению долговечности радиального рабочего колеса на +14.84%, а также дает минимальное процентное изменение массы до +2.01% и минимальное процентное изменение собственных частот радиального рабочего колеса по собственным формам колебаний.

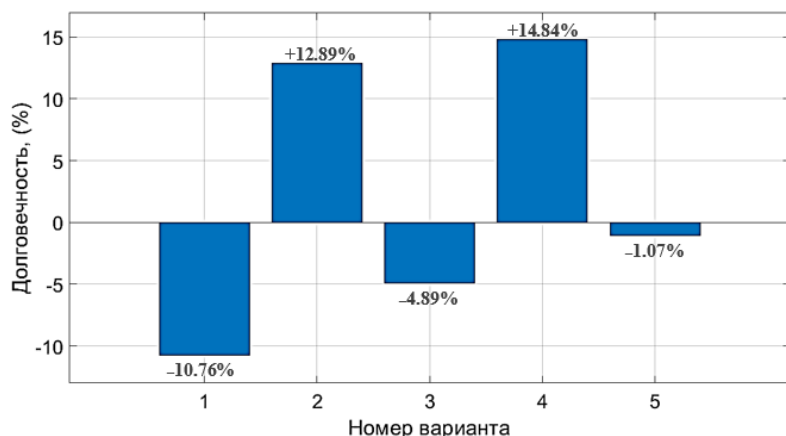


Рисунок 8 – График распределения долговечности при изменении толщины лопатки

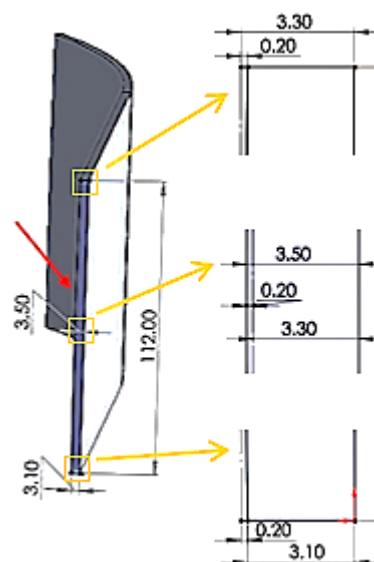


Рисунок 9 – Вариант № 4

Ресурсные характеристики колеса при изменении длины лопаток

- Вариант № 1: Линейный отрез всех лопаток;
- Вариант № 2: Криволинейный отрез по всей лопатке;
- Вариант № 3: Линейное удлинение по всей лопатке;
- Вариант № 4: Криволинейное удлинение по всей лопатке.

Три из четырех вариантов демонстрируют повышение значения количества циклов до разрушения рабочего колеса (Рис. 10). Результаты исследования четырех вариантов показали, что при линейном отрезе по всей лопатке на 3 мм долговечность рабочего колеса уменьшается до – 0.79% (вариант № 1). А в остальных вариантах долговечность радиального рабочего

колеса повышается. Вариант № 3 (Рис. 11) обладает максимальным процентным изменением до +5.86%. А масса лопатки повышается на +0.88%.

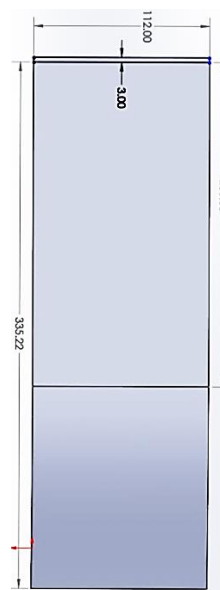
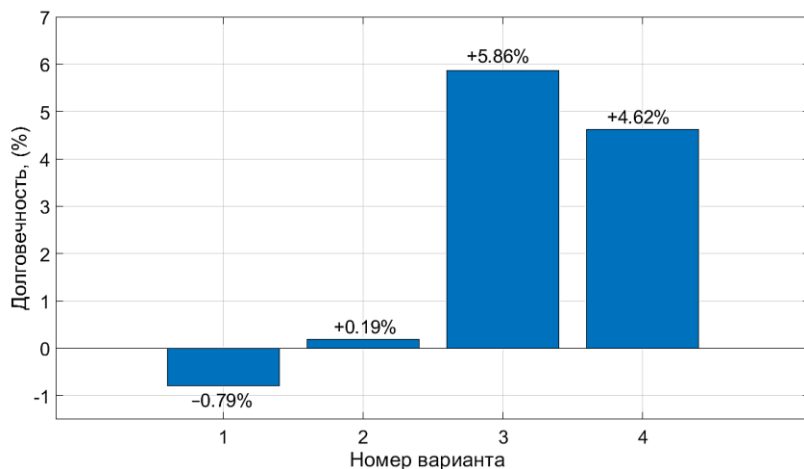


Рисунок 10 – График распределения долговечности при изменении длины лопаток

Рисунок 11 – Вариант № 3

Закключение. Таким образом, в данной работе представлены результаты исследования отрыва части верхней кромки лопаток, а также ресурсные характеристики колеса при изменении толщины и длины лопаток. При отрывании или повреждении кромки лопаток, радиальное колесо потеряло свою работоспособность. А при изменении толщины и длины лопаток, долговечность колеса приводит к увеличению по некоторым вариантам. Выявлены случаи, имеющиеся максимальные увеличения долговечности радиального рабочего колеса по каждому типу изменения лопаток. Данные результаты исследований позволяют использовать их при проектировании и эксплуатации радиальных колес для повышения прочности и надежности лопаток, значительного сокращения количества дорогостоящих экспериментов необходимых для проектирования новых лопаток турбин.

Список литературы

1. До М. Т. Численный анализ влияния расстройки параметров на динамические характеристики рабочих колес турбомашин: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / До Мань Тунг: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. – Иркутск. – 2014. – 197 с.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике/ О. Зеикевич. – М.: издательство: Мир, – 1975. – 542с.
3. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин / А.Г. Костюк – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 476 с.
4. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
5. Мяченков В. И. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов / В. И. Мяченков – М.: Машиностроение, 1989. – 520 с.

6. Репецкий О.В., Хоанг Д.К. Компьютерное моделирование и численный анализ чувствительности радиальных колес турбомашин / О.В. Репецкий, Д.К. Хоанг // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 7 (134). – С. 22–36.
7. Репецкий О.В., Хоанг Д.К. Анализ преднамеренной расстройки параметров при изменении толщины радиальных лопаток турбомашин / О.В. Репецкий, Д.К. Хоанг // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 3 (130). – С. 7–23.
8. Castanier M.P., Pierre C. Using intentional mistuning in the design of turbomachinery rotors / M.P. Castanier, C. Pierre // AIAA J. – 2002. – № 10 (40). – P. 2077–2086.
9. Beirow B., Kühhorn A., Figashevsky F., Bornhorn A., Repetckii O. Forced response reduction of a blisk by means of intentional mistuning / B. Beirow, A. Kühhorn, F. Figashevsky, A. Bornhorn, O. Repetckii // Proceed. of ASME Turbo Expo. – 2019. – № 1 (141). – GT2018- 76584. – 8 p.
10. Beirow B., Kühhorn A., Figashevsky F., Nipkau J. Effect of mistuning and damping on the forced response of a compressor blisk rotor/ B. Beirow, A. Kühhorn, F. Figashevsky, J. Nipkau// Proceedings of ASME Turbo Expo. ASME Turbo Expo 2015: Turbine Technical Conference and Exposition. – 2015. – Vol. 7B. – GT2015-42036. – 12p.
11. Figashevsky F., Kühhorn A. Analysis of mistuned blade vibrations based on normally distributed blade individual natural frequencies / F. Figashevsky, A. Kühhorn // ASME Paper. – 2015. – No. 1. – GT2015-43121. – V07BT32A020. – 13 p.
12. Repetckii O.V., Hoang D.C. Physical and mathematical modeling and computer analysis of radial impellers for chemical and power engineering, taking into account ecology / O.V. Repetckii, D.C. Hoang // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. – 2022. – Vol. 990. – 012044. – 6 p.
13. Yan Y.J., Cui P.L., Hao H.N. Vibration mechanism of a mistuned bladed disk / Y.J. Yan , P.L. Cui, H.N. Hao // Journal of Sound and Vibration. – 2008. – Vol. 317. – P. 294–307.
14. Yuan J., Schwingshackl C., Salles L., Wong C., Patsias S. Reduced order method based on an adaptive formulation and its application to fan blade system with dovetail joints / J. Yuan, C. Schwingshackl, L. Salles, C. Wong, S. Patsias // Proceedings of ASME Turbo Expo. – 2020. – GT2020-14227. P. V011T30A004.

Сведения об авторах

Репецкий Олег Владимирович - доктор технических наук, профессор, проректор по международным связям. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. +73952237438, e-mail: repetckii@igsha.ru).

Хоанг Динь Кыонг – аспирант. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. +73952237438, e-mail: hoangcuonghd95@gmail.com).

УДК 621.314.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

Рудых А.В.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Использование тиристорных преобразователей для управления электроустановками получило широкое распространение. Бесконтактные средства управления более надежны по сравнению с контактными, позволяют значительно снизить расход электроэнергии при плавном управлении мощностью электронагревательных установок. Однако, использование тиристорных преобразователей сопровождается негативными воздействиями на электрические сети в следствии возникновения появления нелинейных искажений тока и угла сдвига основной гармоники тока относительно напряжения в сети, ухудшением энергетических показателей электроустановок [6,10]. Нелинейные искажения тока в электрических сетях можно уменьшить, применяя для этих целей фильтры, а угол сдвига основной гармоники тока относительно напряжения в сети можно уменьшить с помощью компенсирующих устройств. Но включением в электрическую цепь реактивных элементов фильтра и компенсирующих устройств действующий ток, не снизится, а наоборот увеличится. Конечная цель задачи, повышение коэффициента мощности электроустановок, то есть снижение потребляемого из сети действующего тока до минимального значения, необходимого для выполнения работы в технологической установке, не достигается. Для устранения данных недостатков необходимо рассмотреть энергетические процессы электроустановок с тиристорными преобразователями на основе баланса мощности, обоснованным теоремой Умова-Пойнтинга.

Ключевые слова: тиристорный преобразователь, электронагреватель, энергетические характеристики.

RESEARCH RESULTS ELECTRIC HEATERS WITH THYRISTOR CONVERTER

Rudykh A.V.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The use of thyristor converters for controlling electrical installations has become widespread. Contactless controls are more reliable compared to contact ones, they can significantly reduce power consumption with smooth control of the power of electric heating installations. However, the use of thyristor converters is accompanied by negative effects on electrical networks as a result of the appearance of nonlinear current distortions and the angle of shift of the main harmonic of the current relative to the voltage in the network, deterioration of the energy indicators of electrical installations. Nonlinear current distortions in electrical networks can be reduced by applying filters for these purposes, and the angle of shift of the main harmonic of the current relative to the voltage in the network can be reduced with the help of compensating devices. But by including reactive filter elements and compensating devices in the electrical circuit, the current will not decrease, but on the contrary will increase. The ultimate goal of the task, increasing the power factor of electrical installations, that is, reducing the current consumed from the network to the minimum value necessary to perform work in a technological installation, is not achieved. To eliminate these

shortcomings, it is necessary to consider the energy processes of electrical installations with thyristor converters based on the power balance justified by the Umov-Poynting theorem.

Key words: thyristor converter, electric heater, energy characteristics.

Кардинальное изменение условий экономического развития страны, результативность структурных преобразований топливно-энергетического комплекса и других отраслей страны возможны только на основе использования накопленных научных знаний и их материализации в технических, технологических решениях энергоэффективных производств.

Для снижения удельных энергетических, материальных и трудовых ресурсов стали широко применяться на производстве и в быту полупроводниковые преобразователи. Для удовлетворения потребностей населения заводами изготавливаются комплектные тиристорные устройства управления электронагревателями различного назначения [1,4,11].

Экономия энергии и технологический эффект от электротеплоснабжения заключается в возможности децентрализованного производства тепловой энергии в местах ее потребления и автономного автоматического управления тепловыми процессами, а также за счет высвобождения кочегаров в котельных, работающих на твердом топливе. В ряде случаев на обогрев помещений затрачивается до 40...50 % себестоимости производимой продукции [3,8,9]. От качества поддержания требуемого температурного режима зависит комфортность людей и других биологических объектов.

Для расчета параметров и величин технологических процессов в электроустановках с тиристорными преобразователями используется математическая модель не позволяющая установить действительные причины ухудшения энергетических показателей электроустановок. Используемая математическая модель энергетических процессов рассматривает электронагревательную установку с тиристорными преобразователями как единое техническое устройство [1,5]. В действительности, электронагреватель и тиристорный преобразователь отдельные друг от друга технические устройства.

Напряжение на нагрузке с учетом потерь в тиристорах P_B и реактивной мощности Q :

$$U_{\text{вых}} = \frac{\sqrt{(P - P_B)^2 + Q^2}}{I}, \quad (1)$$

Напряжение на входе преобразователя во время непроводящего состояния тиристора:

$$U_{\text{вых.н}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{I}. \quad (2)$$

Действующее напряжения одной фазы во время непроводящего состояния тиристора:

$$\Delta U = \sqrt{U_{\text{вх}}^2 - U_{\text{вых.н}}^2}, \quad (3)$$

где $U_{\text{вх}}$ – напряжение на входе преобразователя.

Составляющая полной мощности на входе электроустановки во время запертого состояния тиристора:

$$\Delta S = \Delta U \cdot I. \quad (4)$$

Запертое состояние тиристора сопровождается появлением мощности ΔS . Без изменения действующего тока I , потребляемого электроустановкой, при полном использовании действующего напряжения $U_{\text{вх}}$, с помощью этой мощности можно осуществить энергообмен в электрической цепи и получить дополнительную тепловую энергию.

Коэффициент мощности электроустановки с тиристорным преобразователем:

$$K_M = \frac{P}{S_{\text{вх}}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + \Delta S^2}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + \Delta S^2}} \cdot \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = K_{\Pi} \cdot K_H. \quad (5)$$

Коэффициент эффективности работы тиристорного преобразователя:

$$K_{\Pi} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + \Delta S^2}}. \quad (6)$$

Коэффициент эффективности преобразования электрической энергии:

$$K_H = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}. \quad (7)$$

В табл.1 представлены результаты расчетов электронагревательной установки, управляемой тиристорным преобразователем напряжения с учетом разработанных энергетических характеристик.

Таблица 1- Расчётные электрические величины электронагревателя с тиристорным преобразователем напряжения

I, А	81,9	70,4	61,4	45	27	15
U, В	186	192	195	206	214	218
$S_{\text{вх}}$, кВА	15,23	13,5	11,9	9,29	5,78	3,27
P, кВт	14,5	11	8,59	4,89	1,90	0,6
Q, квар	5,41	5,45	4,05	3,4	2,27	1,38
$S_{\text{вых}}$, кВА	15,2	11,6	9,14	5,25	2,07	0,66
ΔS , кВА	0	6,9	7,8	7,7	5,4	3,2
$U_{\text{вых}}$, В	183	162	147,1	115,3	76	45
K_{Π}	1	0,8	0,76	0,56	0,36	0,2
K_H	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
K_M	0,95	0,81	0,72	0,53	0,33	0,18

В табл. 2 представлены экспериментальные данные электронагревательной установки с тиристорным преобразователем напряжения

Таблица 2 - Показатели измерительных приборов

I, А	81,9	70,8	61,5	44,7	27	15
U, В	186	192	195	206	214	218
P, кВт	14,55	11,1	8,64	4,8	2,04	0,6
Q, квар	5,41	5,48	5,8	5,41	2,3	1,4

$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	184	160	143	112	80	49
----------------------------	-----	-----	-----	-----	----	----

На (рис. 1, 2) представлены зависимости полной мощности на входе электроустановки $S_{\text{ВХ}}$, реактивной мощности электронагревателей Q , пассивной мощности ΔS , коэффициентов $K_{\text{П}}$, $K_{\text{Н}}$, $K_{\text{М}}$. Точками проставлены значения соответствующих величин, которые получены в результате измерения и расчета при экспериментальных исследованиях.

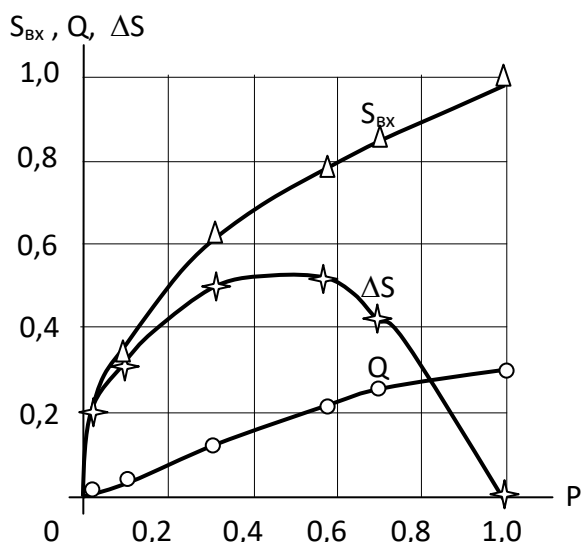


Рисунок 1 - Зависимости $S_{\text{ВХ}}$, Q , ΔS от мощности P электронагревательной установки с тиристорным преобразователем

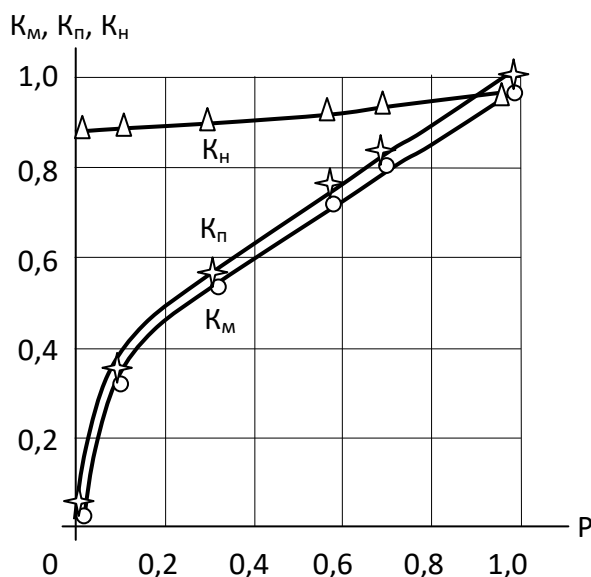


Рисунок 2 - Зависимость $K_{\text{М}}$, $K_{\text{П}}$, $K_{\text{Н}}$ от мощности P электронагревательной установки с тиристорным преобразователем

Исследования показали, что расхождение результатов расчета (небаланс мощностей) и измерений в ходе экспериментов находится в допустимых пределах, установленных для научных исследований (не более 5%) на большей части интервала изменения активной мощности электронагревателей [2,9].

Реактивная мощность электронагревателей Q монотонно снижается с увеличением глубины регулирования активной мощности электронагревателей с незначительным с незначительным отставанием от последней, поэтому K_n также незначительно снижается, по сравнению с K_n в номинальном режиме. Индуктивная составляющая сопротивления нагревательных элементов токам высших гармоник увеличивается, что вызывает соответствующее снижение коэффициента мощности нагрузки преобразователя.

Мощность ΔS в номинальном режиме работы электроустановки равна нулю и непрерывно увеличивается в составе полной мощности на входе электроустановки $S_{вх}$, значительно превышая суммарную мощность других составляющих P и Q , при увеличении глубины регулирования активной мощности электронагревателей. Поэтому коэффициент мощности электроустановки с тиристорным преобразователем K_m практически определяется значениями коэффициента K_n (рис.2). Таким образом, ухудшение энергетических показателей электронагревательной установки происходит в основном из-за неудовлетворительной работы тиристорного преобразователя, за счет неполного использования напряжения, поданного на электроустановку.

Разработанная математическая модель дает возможность совершенствования тиристорных преобразователей. Для энергосберегающего управления электрифицированными технологическими процессами разрабатываются полупроводниковые преобразователи сопротивления [7], с помощью которых достигаются высокие энергетические показатели электроустановок и одновременно решаются проблемы электромагнитной совместимости. Новые энергетические характеристики соответствуют законам фундаментальной электротехники, что позволяет решить методологические проблемы.

Список литературы

1. *Абрамов В. М.* Электронные элементы устройств автоматического управления, схемы, расчет, справочные данные / *В. М. Абрамов.* – М.: Академкнига. 2006. – 680 с.
2. *Алексеева Т.Л., Рябченко Н.Л., Астраханцев Л.А., Тихомиров В.А.* Энергетическая эффективность в электрических цепях с полупроводниковыми приборами // Вестник Южно-Уральского государственного университета, Серия: Энергетика. - 2020.- Т.20. №2. - С. 89-98.
3. *Алексеева Т.Л., Рябченко Н.Л., Астраханцев Л.А., Тихомиров В.А., Алексеев М.Е.* Повышение эффективности рекуперации электрической энергии в электрических сетях переменного тока / *Т.Л. Алексеева, Н.Л. Рябченко, Л.А., В.А. Тихомиров, М.Е. Алексеев* // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2019. - №2 (62). - С. 86-97.
4. *Голодный И.М.* Исследование трехфазного асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением / *И.М. Голодный, А.Ю. Синявский, А.В. Санченко* // Вестник ВИЭСХ. - 2017. - №4(29). - С. 139-143.
5. *Кадомский Д. Е.* Активная и реактивная мощности – характеристики средних значений работы и энергии периодического электромагнитного поля в элементах нелинейной цепи / *Д. Е. Кадомский* // Электричество. – 1987. – № 7. – С. 39-43.
6. *Kamran Jalili, Niels Weitendorf, Steffen Berne.* Behavior of PWM Active Front Ends in the Presence of Parallel Thyristor Converters // IEEE Transactions on Industrial Electronics . - 2008. - Vol. 55. Issue 3.- P. 1035-1046.

7. Патент 2367082 Российская федерация, МПК H20M 7/19. Способ регулирования напряжения и устройство трехфазного выпрямителя / *А. В. Рудых, Т. Л. Алексеева, Н. Л. Рябченко, Н. М. Астраханцева, А. И. Орленко, К. П. Рябченко, М. Е. Алексеев*; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ИрГУПС. – № 2008103618/09; заявл.29.01.2008; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 25. – 8 с.

8. *Пястлов А. А.* Эффективность способов управления активной мощностью сопротивлений / *А. А. Пястлов, Л. А. Астраханцев* // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. – № 6. – С. 35-37.

9. *Рудых А.В.* Возможность управления электрическим обогревом с помощью преобразователей сопротивления / *А.В. Рудых, В.В. Боннет* // Климат экология, сельское хозяйство.2019. С.51-56.

10. *Shuren Wang, Ahmed M. Massoud, Barry W. Williams.* A T-Type Modular Multilevel Converter // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. Vol. 9. Issue: 1, Feb. - 2021. - P. 843-857.

11. Prudnikov, A. Yu. Automated system for processing diagnostic parameters of asynchronous motors for poultry house ventilation systems / A. Yu. Prudnikov, V. V. Bonnet, A. Yu. Loginov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 20–22 июня 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 315. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 32019. – DOI 10.1088/1755-1315/315/3/032019

12. *Шустов М.А.* Основы силовой электроники /*М.А. Шустов* – М.: Наука и техника. - 2017. – 336 с.

Сведения об авторе

Рудых Альбина Владимировна - кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и физики энергетического факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89025135896, e-mail: avr3004@yandex.ru).

УДК 621.316

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ДИСБАЛАНСЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ

Федоринова Э. С., Якупова М. А., Ермолаев Д. С.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Статья посвящена исследованию потерь активной мощности, обусловленных дисбалансом реактивной мощности в действующих электрических сетях 0,4 кВ на территории Иркутской области. Измерения проводились сертифицированным прибором PQM-701, который фиксирует изменения коэффициента реактивной мощности, активную, реактивную и полную мощности в режиме реального времени. На основе полученных данных и расчетов, построены и проанализированы временные диаграммы потерь активной мощности в действующей сети 0,4 кВ, питающей производственную нагрузку объекта АПК, без компенсирующего устройства и при его включении. Проведён анализ способов искусственной компенсации реактивной мощности (синхронные компенсаторы, конденсаторные батареи, статические тиристорные компенсаторы), по результатам которого установлено, что наиболее целесообразным способом, позволяющим компенсировать реактивную мощность в рассмотренной электрической сети, являются компенсирующие устройства, в состав которых входят конденсаторные батареи. Использование таких специальных компенсирующих устройств позволит снизить потери активной мощности (более чем в 15 раз), тем самым повысить эффективность использования электрической энергии на примере действующей электрической сети 0,4кВ, питающей производственную нагрузку объекта АПК.

Ключевые слова: потери мощности, компенсирующее устройство, реактивная мощность, коэффициент мощности, конденсаторные батареи.

INVESTIGATION OF ACTIVE POWER LOSSES IN CASE OF REACTIVE POWER IMBALANCE IN OPERATING ELECTRICAL NETWORKS 0.4 KV

Fedorinova E. S., Yakupova M. A., Ermolaev D. S.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article is devoted to the study of active power losses caused by an imbalance of reactive power in the existing 0.4 kV electric networks in the Irkutsk region. The measurements were carried out by a certified PQM-701 device, which records changes in the reactive power coefficient, active, reactive and full power in real time. Based on the obtained data and calculations, time diagrams of active power losses in the current 0.4 kV network feeding the production load of the agro-industrial complex facility, without a compensating device and when it is turned on, are constructed and analyzed. The analysis of methods of artificial compensation of reactive power (synchronous compensators, capacitor banks, static thyristor compensators) was carried out, according to the results of which it was found that the most appropriate way to compensate for reactive power in the considered electrical network are compensating devices, which include capacitor banks. The use of such special compensating devices will reduce the loss of active power (by more than 15 times), thereby increasing the efficiency of the use of electrical energy on the example of the existing 0.4 kV electrical network feeding the production load of the agro-industrial complex.

Keywords: power loss, compensating device, reactive power, power factor, capacitor banks.

В настоящее время происходит насыщение коммунально-бытовых потребителей реактивными электроприемниками, которые в достаточно большой степени потребляют реактивную мощность.

Реактивная мощность (РМ) характеризует скорость обмена электромагнитной энергией между источником и пунктом приема, не выполняет полезной работы, вызывает дополнительные потери активной мощности, снижение пропускной способности сети и нагрев проводников, а также требует применения источника энергии повышенной мощности [4].

Контроль состояния распределительной сети происходит с оценкой коэффициента мощности $\cos \varphi$, который численно определяется отношением активной к полной мощности. Но эксперты рекомендуют выполнять оценку по коэффициенту реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi$, показывающему отношение реактивной мощности к активной, поскольку даже при высоких значениях коэффициента мощности до 0,95 или 0,97 потребляется реактивная мощность, равная соответственно 3 и 4 частям активной мощности (табл. 1)[6].

Таблица 1 – Значения коэффициента мощности

$\cos \varphi$	1.0	0.99	0.97	0.95	0.94	0.92	0.9	0.87	0.85	0.8	0.7	0.5	0.316
$\operatorname{tg} \varphi$	0.0	0.14	0.25	0.33	0.36	0.43	0.484	0.55	0.60	0.75	1.02	1.73	3.016
РМ,%	0.0	14	25	33	36	43	48.4	55	60	75	102	173	301.6

Дисбаланс реактивной мощности в системе электроснабжения обуславливает [3-5]:

- ограничение мощности силовых трансформаторов;
- потери и скачки напряжения в сети и на отдельных участках сети;
- перегрузку защитных и управляющих устройств со снижением срока их службы;
- существенное увеличение потерь электрической энергии;
- необходимость увеличения сечения токоведущих кабелей и т.д.

Целью настоящего исследования является, проведение экспериментальных исследований потерь электрической энергии, обусловленных дисбалансом реактивной мощности в действующей электрической сети 0,4 кВ.

Задачи исследования:

1. Провести измерения в действующей электрической сети.
2. Выполнить расчет и анализ необходимых коэффициентов.
3. Рекомендовать мероприятия по регулированию реактивной мощности и снижению потерь активной мощности, обусловленных дисбалансом реактивной мощности.

Исследования проводились на территории Иркутской области в действующей распределительной сети 0,4 кВ, питающей производственную нагрузку объекта АПК. Измерения осуществлялись анализатором «PQM-701 (960251)» в соответствии с ГОСТ-32144-2013 [1].

Проведенный анализ показал (рис. 1), что в отдельные моменты измерений коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi$ достигал 0,79, а его среднее

значение за период измерений 0,56. Из этого следует, что при таком коэффициенте реактивной мощности процент потребления РМ в данной электрической сети на 40 % превышает рекомендованные значения [2].

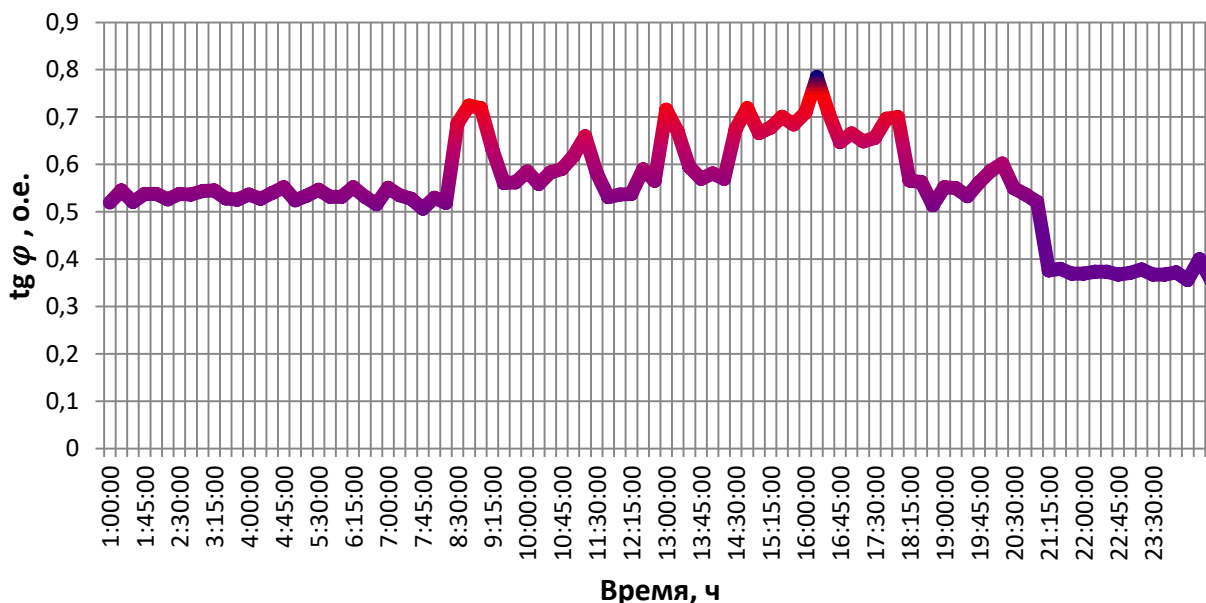


Рисунок 1-Диаграмма изменения tg φ без компенсации РМ

Потери активной мощности, которые возникают при небалансе реактивной мощности, оценивают как:

$$\Delta P = \frac{[P_{\text{рас}}^2 + Q_{\text{рас}}^2]R}{(U\sqrt{3})^2} \text{ кВт}, \quad (1)$$

где R – значение активного сопротивления токопроводящих жил на длину 1 км, примем $R=1,2$ Ом на 1 км.

Расчеты показали, что реальные потери активной мощности, обусловленные дисбалансом РМ составили в среднем, в каждый момент измерений, за исследуемый период времени 16301,5 кВт (min – 1098,3 кВт, max. 47244,6 кВт) (рис. 2).

Далее определяем мощность компенсирующего устройства (КУ):

$$Q_{\text{КУ}} = P_{\text{рас}}(tg \varphi_{\text{рас}} - tg \varphi_{\text{эkn}}) \text{ кВар}, \quad (2)$$

где $tg \varphi_{\text{эkn}} = 0,35$, $tg \varphi_{\text{рас}} = 0,56$, $P_{\text{рас}}$, $Q_{\text{рас}}$ – активная и реактивная мощности соответственно.

Потери активной мощности после установки устройства компенсации:

$$\Delta P = \frac{[P_{\text{рас}}^2 + (Q_{\text{рас}} - Q_{\text{КУ}})^2]R}{(U\sqrt{3})^2} \text{ кВт}. \quad (3)$$

При включении КУ потери активной мощности составили в среднем в каждый момент измерений за исследуемый период времени 1075,9 кВт (рис.2), то есть потери уменьшились в 15 раз. Таким образом, исследуемые данные показали, что при установке КУ можно снизить потери активной мощности и соответственно повысить эффективность использования электрической энергии.

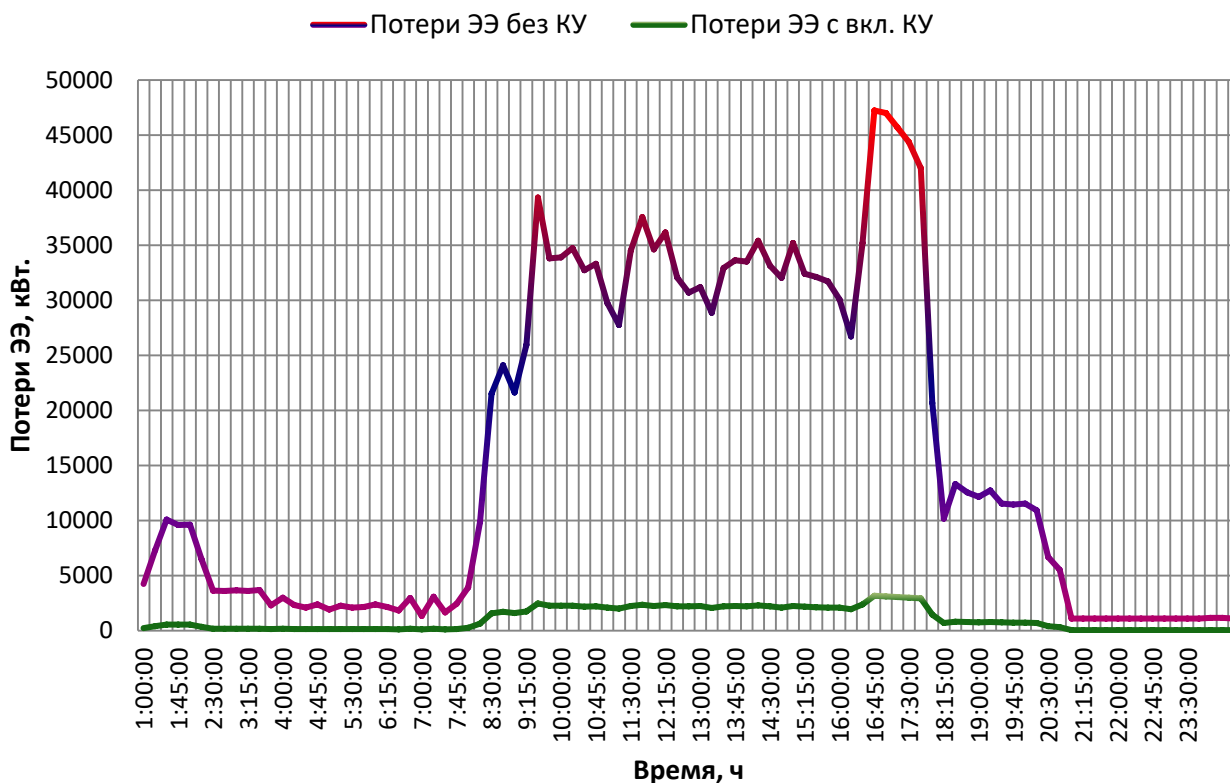


Рисунок 2 – Временная диаграмма изменения потерь мощности

Процесс поддержания баланса (регулирования) реактивной мощности на должном уровне в системе электроснабжения называют компенсацией реактивной мощности. Существуют два способа компенсации – естественная и искусственная компенсация (рис. 3). Наибольший интерес вызывает искусственная компенсация, так как позволяет не изменять конфигурацию сети и экономичнее по сравнению с естественной компенсацией.

Рассмотрим способы искусственной компенсации. К ним относят, синхронный компенсатор – это синхронная машина, работающая без нагрузки на валу (рис. 2а). Синхронный компенсатор (СК) позволяет поддерживать напряжение в электрической сети в пределах номинальных значений с помощью генерирования и потребления реактивной мощности. Главным преимуществом СК является плавное и автоматическое регулирование реактивной мощности, а недостатком является высокая стоимость, что усложняет его применение в широких масштабах.

Еще один способ компенсации реактивной мощности – конденсаторные батареи (КБ) (рис. 2б). КБ предусматривают ступенчатое регулирование, что исключает точное регулирование реактивной мощности. Регулирование может быть одноступенчатым (включение или отключение всех конденсаторов одновременно) и многоступенчатым.

КБ являются простым и надежным устройством, которое имеет относительно небольшие капитальные затраты, их просто монтировать и эксплуатировать.



Рисунок 3 – Способы компенсации реактивной мощности

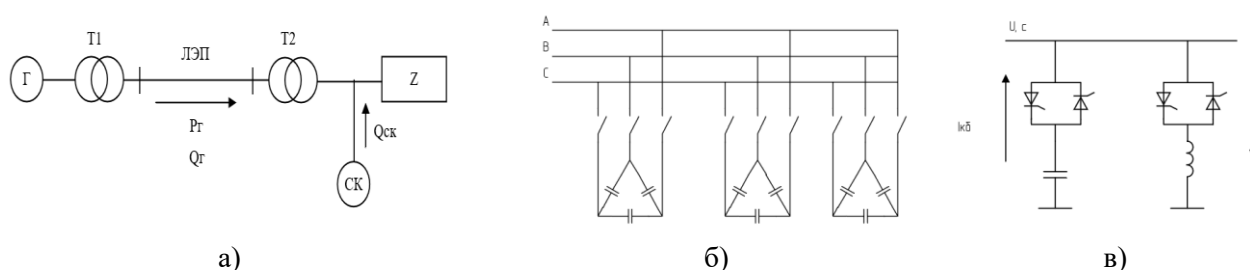


Рисунок 4 – Способы искусственной компенсации: а) – схема подключения синхронного компенсатора в сеть; б) – схема подключения конденсаторных батарей; в) – схема статического тиристорного компенсатора в однофазном исполнении.

Известны устройства для компенсации реактивной мощности, в состав которых входят конденсаторные батареи (RU № 2731209 H02J 3/26, H01F 30/10, 16.04.2020; RU № 2002350 H02J 3/18 1990.04.16; RU 179397 H01G 9/045 2017.05.14; RU 2467448 H02J 3/18 2011.09.29). Недостатком данных устройств является отсутствие плавного регулирования, а также необходимость их защиты от высших гармонических составляющих, которые создают дополнительные потери мощности в конденсаторах.

Также к способам искусственной компенсации относят статические тиристорные компенсаторы (СТК) (рис. 2в), которые позволяют плавно регулировать реактивную мощность, такая компенсация позволяет регулировать как генерируемую, так и потребляемую реактивную мощность. К таким устройствам относят (RU № 2658906 H02J 3/18 2017.04.10; SU № 1602348 H02J 3/18 19.07.1988; RU № 2282912 H01F29/14 16.07.2004). Недостаток СТК в том, что входящий в их состав реактор, управляемый тиристором, генерирует высшие гармоники (ВГ). В связи с этим необходимо применять фильтро-компенсирующие устройства для устранения высших гармоник.

В связи с вышесказанным, сегодня основной задачей, является создание простого, надежного устройства с минимальными капиталовложениями, позволяющего плавно и автоматически регулировать (компенсировать) реактивную мощность в системе электроснабжения, что обеспечит эффективное использование электрической энергии с минимальными потерями активной мощности. В данном случае, в качестве рекомендации можно использовать компенсирующее устройство, в состав которого входят КБ. Такие устройства

имеют малые удельные потери мощности, малую массу, их просто монтировать и эксплуатировать, а также возможно установить около отдельных электроприемников.

Выводы: Проведенные экспериментальные исследования потерь мощности при дисбалансе реактивной мощности в действующих электрических сетях объектов АПК показал следующее:

1. В данной действующей электрической сети коэффициент реактивной мощности имеет значение, которое превышает рекомендованные значения.

2. Наиболее целесообразным способом, позволяющим компенсировать реактивную мощность в данной действующей электрической сети, является КУ, в состав которого входят КБ.

3. Использование КУ позволит уменьшить потери активной мощности в 15 раз.

Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). – Введ. 2014-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 20 с. – Текст : непосредственный.

2. Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. № 380 "О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии"

3. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятия: учебное пособие / А.В. Кабышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – С. 234.

4. К вопросу о повышении уровня управляемости сельскими распределительными электрическими сетями напряжением 0,38 кВ / И. В. Наумов, М. А. Якупова, Э. С. Федоринова, Е. С. Карпова // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы всерос. науч.-практ. конф., (14-15 марта 2019 г.) : в 4 т. – Молодежный, 2019. – Т. 2. – С. 146-154.

5. Минин Г.П. Реактивная мощность / Г.П. Минин – Москва: Энергия, 1978. – С 88.

6. Результаты моделирования асинхронного двигателя с эксцентриситетом ротора в режиме холостого хода / А. Ю. Прудников, В. В. Боннет, А. Ю. Логинов, Я. В. Боннет // 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. 119-125.

7. Якупова, М. А. К вопросу о дополнительных потерях электрической энергии в сельских распределительных электрических сетях, напряжением 0,38 кВ / М. А. Якупова, Э. С. Федоринова, И. В. Наумов // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, (26-27 марта 2020 г.). – Молодежный, 2020. – С. 322-329.

Сведения об авторах

Федоринова Эльвира Сергеевна – ассистент кафедры электроснабжения и электротехники, (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89041179752, e-mail: fec89834052365@mail.ru)

Якупова Марина Андреевна – ассистент кафедры электроснабжения и электротехники, (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89086642241, e-mail: yakupovamarina199@yandex.ru)

Ермолаев Давид Сергеевич – студент 4-го курса, направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89996446261, e-mail: ermolaeff.david@gmail.com).

УДК 005:632.983.3:52-76

ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ СЕМЯН КУЛЬТИВИРУЕМЫХ РАСТЕНИЙ В АЭРОПОНИКЕ

Федотов В.А.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

пос. Молодёжный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье приведены результаты исследования электростимуляции семян возделываемых сельскохозяйственных культур как в открытом грунте, так и возделываемых без грунта – аэропоника, это процесс возделывания растений в воздушной среде без использования почвы, при этом питательные вещества к корневой системе растения доставляются в виде аэрозоля. В отличие от гидропоники, которая использует в качестве питательной среды – воду, насыщенную необходимыми минералами и питательными веществами для поддержания правильного развития растений, аэропонный способ выращивания растений не предполагает использование питательной среды в виде твёрдого грунта – плодородного слоя почвы.[2] В зависимости от поставленных задач результаты исследований разнились ввиду разных частей эксперимента, так как в одном сегменте это был активно-пассивный эксперимент выполнение исследований в полевых условиях, где условия проведения эксперимента диктовались природой, а другой сегмент, это активный эксперимент, полностью проводился в лабораторных условиях с полной имитацией питательной среды твёрдого грунта. На основе возможности управления факторами воздействия при выращивании растений возделываемых в сельском хозяйстве, на аэропонике, можно получать требуемые результаты различных исследований.

Ключевые слова: семена сельскохозяйственных растений, установка для аэропоники, предпосевная обработка, электротепловое излучение, качественные показатели.

PRE-SEEDING OF AGRICULTURAL PLANTS IN DIFFERENT MEDIA

V.A. Fedotov

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article presents the results of research of electrostimulation of seeds of cultivated crops both in the open ground and cultivated without soil - aeroponics, it is a process of cultivation of plants in the air environment without the use of soil, In this case, nutrients are transported to the plant's root system as an aerosol. Unlike hydroponics, which uses as a nutrient medium water saturated with the necessary minerals and nutrients to maintain the proper development of plants, The aeroponic method of growing plants does not involve the use of a nutrient medium as a hard ground - a fertile soil layer.[2] Depending on the tasks to be performed, the results of the studies differed in the appearance of the different parts of the experiment, as in one segment it was an active-passive experiment performed in the field, where the conditions of the experiment were dictated by nature, And the other segment, this is an active experiment, fully performed in a laboratory with a full simulation of a solid soil nutrient medium. On the basis of the possibility of controlling the influence of growing crops, aeroponics, the required results of various studies can be obtained.

Keywords: seeds of agricultural plants, installation for aeroponics, pre-seeded processing, electrothermal radiation, qualitative indicators.

Современные тенденции развития сельского хозяйства водят новые технические решения в области растениеводства, это касается беспочвенного возделывание растений сельхоз назначения, а именно гидропоника и аэропоника.

Требования к качеству готового продукта и скорость его готовности напрямую зависит от правильной подготовки семенного материала. А при современных гастрономических предпочтениях к микро-зелени это одна из основных задач.

В исследованиях рассматривались два вида растений, которые чаще всего возделываются для микро-зелени: из семейства свеклы «Мангольд Красный» рисунок 1 и редис «Red» рисунок 2



Рисунок 1 – Кюветы с необлучёнными и облучёнными семенами «Мангольд Красный»

Мангольд Красный (лиственная свекла) - это скорее овощ, чем зелень - крупное растение высотой до 60-70 см. В пищу употребляют молодые листья и черешки, которые содержат углеводы, азотистые вещества, органические кислоты, каротин (до 6 мг%), витамины С (до 60 мг%), В, В2, О, РР, Р, соли калия, кальция, фосфора, железа, лития и др. Листовая свекла – мангольд - богата витаминами, очень приятна на вкус, да и по своей урожайности находится в числе лидеров: одно растение в состоянии дать более 1 кг отборных листьев и черешков. Очень ценится мангольд в ранневесенний период, когда зеленой витаминной продукции еще мало. Используют его для приготовления салата, винегрета, супов, свекольников, холодных закусок и вторых блюд - тушат на масле и сале, как и шпинат. Черешки отваривают в подсоленной воде и обжаривают с сухарями в масле. Листья квасят отдельно или вместе с капустой. Черешки можно мариновать как огурцы (нарезая и вставляя их по размеру в банки вертикально). Мангольд обладает и лечебными свойствами. Его очень полезно употреблять при заболевании диабетом, анемией, почечнокаменной болезнью, повышенном давлении. Употребление его в пищу улучшает работу печени, сердечно-сосудистой системы, способствует росту детей, стимулирует деятельность лимфатической системы и повышает устойчивость организма против простудных заболеваний. Мангольд также рекомендуется употреблять против лучевой болезни. Кашица из корня мангольда является хорошим средством против облысения[7].



Рисунок 2 – Кюветы с необлучёнными и облучёнными семенами «Red»

Микрозелень редиса Red, сочная и упругая, имеет слегка острый, приятный вкус. Стоит отметить характерный аромат свежей редиски, который придает блюдам неповторимый вкус. По своим вкусовым качествам отлично сочетается с белковыми продуктами.

Большое количество витаминов и минеральных веществ, и эфирных масел, тиамин, рибофлавин, каротин. Благодаря содержанию серы в микрозелени редиса, улучшается здоровье волос и ногтей.

Микрозелень редиса укрепляет сердечно-сосудистую систему организма, придает сосудам эластичность, снижает холестерин. Укрепляет иммунитет, придает бодрость и улучшает цвет лица. Очень полезны при диабете и подагре, для снижения веса. Проростки редиса содержат много витаминов и микроэлементов, тем самым благотворно влияют на кожу, делают её упругой, гладкой и эластичной. Микрозелень редиса улучшает пищеварение, разжижает желчь.

При прорастании в семенах редиса увеличивается концентрация полезных веществ, поэтому чтобы получить больше пользы и помочь организму справиться с недугами, необходимо употреблять живые проростки и микрозелень ежедневно [10].

При сравнительном анализе влияния электротеплового излучения на семена данных растений, было обнаружено, что эффект стимуляции в малообъёмных семенах растений, которым относятся и выше указанные, закрепляется также как в среднеобъёмных семенах, которым относятся семена пшеницы и т.п. Однако сохранность такого эффекта не долговечна: если в семенах пшеницы в отдельных случаях сохранность может достигать 30 дней [13], то семена малых объёмов данный эффект ограничивается не более восьми суток [8], так как в таких семенах процессы пробуждения быстротечны, виной всему наличие в составе структуре семени – целлюлозы. Которая является определённым барьером по проникновению электротеплового излучения в глубь семени, что сказывается по определению оптимального режима обработки.

В процессе проращивания семян в аэропонике не обработанные семена значительно уступают в развитии по сравнению с обработанными, особенно это видно на первых этапах прораствания (рис.1 и 2). В дальнейшее развитие растений в аэропонике напрямую зависит от технологии возделывания. Но тогда мы будем наблюдать разное развитие простимулированных и не

стимулированных растений. Не стимулированные растения будут выглядеть не равномерными, а именно присуще явление разницы сильной и слабой породы. А у стимулированных растений эта разница минимальна, так как слабая порода приобретает импульс для развития, тогда как сильная порода остаётся при своей энергетике для развития, данный момент требует отдельного изучения.

На рисунке 3 отображены кюветы аэрологического возделывания микрозелени свеклы «Мангольд Красный» прошедшие обработки электротепловым излучением. На котором можно наблюдать единообразие в развитии, в особенности корневой и стебельковой части.



Рисунок 3 – Кюветы с готовыми к употреблению в пищу свекла «Мангольд Красный»

На рисунке 4 отображены кюветы аэрологического возделывания микрозелени редиса «Red» прошедшие обработки электротепловым излучением. На котором можно наблюдать единообразие в развитии, в особенности в той части где расположены листья.



Рисунок 4 – Кюветы с готовыми к употреблению в пищу редис «Red»

Данный эксперимент проходил на созданной установке по отработанным рабочим конструкциям применяемых для возделывания микрозелени в аэропонике в регулируемой окружающей среде, с автоматической подачей специального водяного раствора. По органолептическим свойствам продукция, прошедшая предпосевную обработку, находится на достойном уровне.

Список литературы

1. Антонова, А. А. Аэропоника. Метод воздушного беспочвенного выращивания / А. А. Антонова // Студенческая наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 07 июня 2022 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 260-262.
2. Аэропоника. - URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэропоника> (дата обращения: 12.09.2022). - Режим доступа: энциклопедия Википедия. - Текст : электронный.
3. Бастрон А.В. Установка для предпосевной обработки семян СВЧ-энергией/ А.В. Бастрон, А.В. Исаев, А.В. Мещеряков // патент на полезную модель RU 165527 U1, 20.10.2016. – С. 7
4. Буранов, Н. А. Повышение эффективности предпосевной обработки посадочного материала за счёт обработки направленным световым потоком / Н. А. Буранов // Аграрная наука - сельскохозяйственному производству : материалы Международной научно-практической конференции: в 3 томах, Ижевск, 12–15 февраля 2019 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 226-228.

5. Жукова Т.А. Влияние энергии лазерного облучения семян на формирование и развитие ростков цветочных культур / Т.А. Жукова, А.В. Борисова // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. Сборник IV Всероссийской (национальной) научной конф. – 2019. – С. 26-28.

6. Зимин, А. К. Аэропоника тенденции развития плюсы и минусы / А. К. Зимин, Е. М. Кузина, М. О. Лопарев // Информационное обеспечение научно-технического прогресса: анализ проблем и поиск решений : сборник статей Международной научно-практической конференции, Киров, 25 мая 2021 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2021. – С. 50-53.

7. Мангольд красный Официальный сайт. -URL: <https://edaplus.info/produce/chard.html> (Дата обращения 14.04.2022 Время 22:40).

8. Патент № 2621980 С Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Способ предпосевной обработки семян томатов : № 2015121900 : заявл. 08.06.2015 : опубл. 08.06.2017 / О. Н. Цыдыпова, В. А. Федотов, В. Д. Очиров, И. В. Алтухов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

9. Патент № 2766698 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/06. Установка для предпосевной обработки семян : № 2021119822 : заявл. 07.07.2021 : опубл. 15.03.2022 / В. А. Лашков, Ю. Г. Вавилов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

10. Редис Red Официальный сайт. -URL: <https://itravi.ru/catalog/semena-zlakovye-i-bobovye-dlya-prorashchivaniya/semena-mikrozeleni/redis-dlya-prorashchivaniya-mikrozeleni/> (Дата обращения 14.04.2022 Время 22:50).

11. Технология и оборудование для получения и подготовки пророщенного зерна на корм животным / С. В. Вендин, Ю. В. Саенко, К. В. Казаков [и др.]. – Москва; Белгород : Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-книготорговый центр "Колос-с", 2021. – 204 с. – ISBN 978-5-00129-243-2.

12. Тютин В.В. Влияние свч-излучения на процесс проращивания пшеницы сорта «Немчиновская 57» / В.В. Тютин // 71-й Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе». – Караваево, – 2020. – С. 77-82.

13. Федотов, В. А. Влияние электротеплового излучения на биоэнергию семян пшеницы / В. А. Федотов, О. Н. Цыдыпова, В. Д. Очиров // 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. 175-181.

14. Цугленок, Г. И. Результаты исследований процесса высокочастотной предпосевной обработки семян пшеницы сорт "Скала" / Г. И. Цугленок, Н. В. Цугленок // Совершенствование процессов сельскохозяйственного производства : тезисы докладов краевой научно-технической конференции, Красноярск, 22–24 марта 1979 года / А.Г. Ворожейкина, В.П.Санников, Н.В.Цугленок, К.Д. Шмидт. – Красноярск: Сельскохозяйственный институт СибГОСНИТИ, 1979. – С. 23.

Сведения об авторах

Федотов Виктор Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения и теплотехники (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89149594407, e-mail: skobarifed@yandex.ru).

УДК 631.347

УРАВНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ ВОДЯННОГО ПОТОКА ОСНОВНОГО ТРУБОПРОВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Черных А.Г.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье приводятся теоретические и практические исследования на предмет получения соответствующих оценок потерь напора в основном трубопроводе широкозахватной дождевальной машины кругового действия. Приведено уравнение непрерывности для потока воды в конической трубе соответствующего квазилинейному гиперболическому уравнению в частных производных в терминах двух зависимых переменных, скорости и высоты линии гидравлического уклона, и двух независимых переменных, расстояния вдоль трубы и времени. Для частного случая нестационарного течения соответствующего установившемуся потоку воды в трубопроводе получено преобразованное уравнение непрерывности, связывающие величину потерь напора в трубопроводе с его длиной в осевом направлении. Для набора точек координатно зависимых с конечным числом спринклеров размещенных в осевом направлении на внешней цилиндрической поверхности трубопровода аналитически определена величина сопутствующих потерь напора, являющихся степенной функцией текущих значений расхода в трубе. С помощью предложенной степенной функции произведен расчет величины потерь напора в основном трубопроводе широкозахватной дождевальной машины фирмы T-L Irrigation company при заданных, входящих в ее структуру параметров гидравлического и трубопроводного оборудования. Результаты проведенных исследований для заданных параметров оборудования машины и параметров микроклиматической эффективности, характеризующих процесс полива, позволяют сформулировать рекомендации при выборе количества и типа, монтируемых на трубопроводе дождевателей.

Ключевые слова: дождевальная машина, расход, спринклер, трубопровод, напор.

THE EQUATION OF CONTINUITY OF THE WATER FLOW OF THE MAIN PIPELINE OF THE CIRCULAR IRRIGATION MACHINE

Chernykh A.G.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article presents theoretical and practical studies on obtaining adequate estimates of pressure losses in the main pipeline of a wide-reach circular sprinkler machine. The equation of continuity of water flow in a conical pipe is given, corresponding to a quasi-linear hyperbolic partial differential equation with respect to two dependent variables — the speed and height of the hydraulic slope line and two independent variables — the distance along the pipe and time. For the special case of a non-stationary flow corresponding to the steady flow of water in the pipeline, a transformed continuity equation is obtained that relates the magnitude of pressure losses in the pipeline with its length in the axial direction. For a set of coordinate-dependent points with a finite number of sprinklers located axially on the outer cylindrical surface of the pipeline, the magnitude of the associated pressure losses, which are a power function of the current flow values in the pipe, is analytically determined. . With the help of the proposed power function, the magnitude of pressure losses in the main pipeline of the T-L Irrigation wide-reach sprinkler machine is calculated for the parameters of hydraulic and pipeline equipment included in its composition. The results of the studies of the specified parameters of machinery and microclimatic

efficiency parameters characterizing the irrigation process allow us to formulate recommendations when choosing the number and type of sprinklers installed on the pipeline.

Key words: sprinkler machine, flow, sprinkler, pipeline, head.

Точный контроль глубины воды является одним из преимуществ широкозахватных дождевальных машин кругового движения основного трубопровода относительно центральной поворотной башни. В практическом плане, контроль глубины вносимой воды на орошаемую площадь требует наличия систем управления для соответствующего оборудования ирригационной системы, влияющего на величину, продолжительность и интенсивность искусственного дождя. Для закрытых оросительных систем, с подачей воды в трубопроводы от источника водоснабжения с помощью насосного оборудования, система управления величиной расхода в напорном патрубке является определяющей с точки зрения достижения последующих целей управления связанных с практическим обеспечением требуемой нормы полива [1].

На рис. 1 показан разрез в секущей плоскости параллельной оси X трехмерного ортогонального базиса связанного с потоком воды протекающего в конической трубе с площадью поперечного сечения S и толщиной δx в направлении + X. Площадь S , в общем случае, является функцией x , которая представляет собой координатное расстояние вдоль оси трубы от произвольной начальной точки.

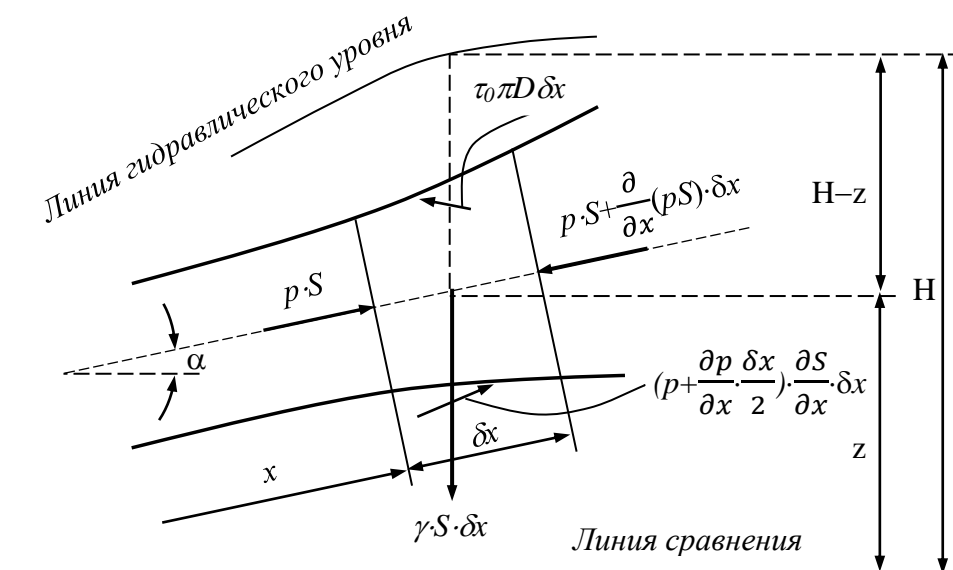


Рисунок 1 – Диаграмма линейных и угловых координат, силы гравитации и гидравлических сил для участка напорного трубопровода, соответствующих уравнению движения

Труба наклонена относительно горизонтали под углом α , положительным при увеличении высоты z в направлении + X. Силы, действующие на элемент объема равный произведению $S \cdot \delta x$ в направлении + X, представляют собой нормальные давления поверхностного контакта на поперечных поверхностях, а также компоненты сдвига и давления на периферии. Кроме того, гравитационная

составляющая силы равная $\gamma \cdot S \cdot \delta x$, имеет – X составляющую, где $\gamma = \rho g$ – удельный вес воды. Считается, что сила сдвига пропорциональна напряжению сдвига τ_0 , также действует в направлении – X. Для принятых на рис. 1 обозначений, сумма сил, действующих на элемент объема воды, равна ее массе $\rho \cdot S$, умноженной на ее ускорение g .

Тогда, применение второго закона Ньютона к элементу объема вдоль направления x протекающей воды, позволяет формализовать соответствующее уравнение Эйлера в виде [2]

$$\rho S - [\rho S + (\rho S)_x \delta x] + \left(p + p_x \frac{\delta x}{2} \right) S_x \delta x - \tau_0 \pi D \delta x - \gamma S \delta x \sin \alpha = \rho S \delta x \dot{V} \quad (1)$$

где

$$\dot{V} = \frac{dV(x,t)}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial x} V + \frac{\partial V}{\partial t} = VV_x + V_t \quad (2)$$

Путем исключения слагаемых, содержащих $\delta^2 x$ уравнение (1) преобразуется к тождеству

$$p_x S + \tau_0 \pi D - \rho g S \sin \alpha + \rho S \dot{V} = 0 \quad (3)$$

Давление p (рис. 1) может быть заменено пьезометрическим напором H (или высотой линии гидравлического уклона над произвольным начальным значением) тождеством вида

$$p = \rho g (H - z) \quad (4)$$

где z – высота осевой линии трубы в точке x .

Тогда

$$p_x = \rho g (H_x - z_x) = \rho g (H_x - \sin \alpha) \quad (5)$$

Уравнение (3) с учетом выражений (2) и (5) примет вид

$$gH_x + VV_x + V_t + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \quad (6)$$

где f – коэффициент трения Дарси-Вайсбаха (коэффициент потока λ); $V|V|$ – диссипативный нелинейный член, зависящий от направления (знака) скорости V ; D – гидравлический диаметр трубы.

Необходимо отметить, что уравнение (6) должно выполняться для установившегося потока, частного случая нестационарного течения, при $V_x = 0$ и $V_t = 0$,

$$\Delta H = - \frac{f \Delta x V |V|}{2gD} \quad (7)$$

которое в этом случае представляет собой уравнение Дарси-Вайсбаха.

В широкозахватных круговых дождевальными машинах (ШКДМ) со струйными дождевателями на основном трубопроводе, схема посадки спринклеров является существенным показателем, характеризующим качество технологического процесса полива. В частности, данный показатель определяет

высоту слоя осадков на единичную площадь орошаемой поверхности для заданного интервала времени.

Величина расхода q_i в выпускном отверстии отвода i -го дождевателя может быть вычислена по выражению [3]

$$q_i = C_d \cdot s_i \cdot \sqrt{2gH_i} \quad (8)$$

где q_i – расход в выпускном отверстии дождевателя, л/с; C_d – коэффициент расхода (обычно колеблется от 0,95 до 0,96); s_i – площадь поперечного сечения сопла разбрызгивателя, м²; H_i – рабочий напор в точке отвода, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

При аналитических расчетах, текущее значение H_i определяется как разность между уменьшаемым соответствующим величине напора в районе центральной поворотной башни ШКДМ и вычитаемым соответствующим величине давления перед выпускным отверстием отвода i -го дождевателя. В этом случае алгоритм расчета величина расхода q_i , сводится к определению потерь на трение обусловленных движением воды в трубопроводе и, соответствующих этим потерям давлений в произвольной точке вдоль боковой поверхности водовода машины.

Предположим, что основной трубопровод ШКДМ имеет схему посадки с равноудаленными друг относительно друга дождевателями и общим числом равным n . Присвоим дождевателю на конце трубопровода наиболее удаленному от центральной поворотной башни машины порядковый номер №1, соответствующий порядковому номеру расход q_1 и рабочий напор в точке отвода H_1 .

В общем случае, потеря напора в трубопроводе между дождевателем №1 и ближайшим по схеме посадки дождевателем с порядковым номером №2 составляет величину [4]

$$\Delta H_{1-2} = J \frac{L_{1-2}}{100},$$

где ΔH – потеря давления, м; L – расстояние между отводами соседних дождевателей, м; J – коэффициент уменьшения в уравнении Кристиансена при длине трубопровода 100 м (б/р).

Очевидно, что напор в точке отвода к дождевателю №2 равен

$$H_2 = H_1 + \Delta H_{1-2} \quad (9)$$

С учетом выражения (8) и (9), а также равенства площадей поперечных сечений сопел всех разбрызгивателей, величины расходов q_1 и q_2 определяются пропорцией

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{C_d \cdot s_2 \cdot \sqrt{2gH_2}}{C_d \cdot s_1 \cdot \sqrt{2gH_1}} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} = \sqrt{\frac{H_1 + \Delta H_{1-2}}{H_1}}$$

Аналогично, $H_3 = H_2 + \Delta H_{2-3} = H_1 + \Delta H_{1-2} + \Delta H_{2-3}$

$$\frac{q_3}{q_1} = \frac{C_d \cdot s_3 \cdot \sqrt{2gH_3}}{C_d \cdot s_1 \cdot \sqrt{2gH_1}} = \sqrt{\frac{H_3}{H_1}} = \sqrt{\frac{H_1 + \Delta H_{1-2} + \Delta H_{2-3}}{H_1}}$$

Подобные вычисления необходимо выполнять для i -го разбрызгивателя, с учетом выполнения двух условий:

$$1) i < (n-1); \quad 2) H_i = (H_2 + \Delta H_{(i-1),i}) < H_{\max},$$

где H_{\max} – максимально допустимый напор, например, равный напору на входе в основной трубопровод в районе центральной поворотной башни.

Учитывая, что в конструкции большинства современных ШКДМ используются многофункциональные разбрызгиватели с регулируемым давлением на выходе сопла форсунки, при достаточно высоких относительных величинах расхода в единицу времени, то суммарная величина локальных потерь по длине трубопровода не является незначительной, которой можно игнорировать, и может составлять величину равную 10% H_{\max} .

Если по условиям эксплуатации машины, работа всех дождевателей соответствует условию равенства их расходов, то при вычислении потерь напора в трубопроводе можно использовать способ, позволяющий исключить из алгоритма решения выполнения процедуры связанной с многократным проведением приведенных выше итераций.

В этом случае, потери напора в трубе с диаметром D , расходом Q и длиной L могут быть определены, с помощью модифицированного уравнения (7), которое будет выражать величину потерь напора как функцию расхода в виде степенной функции.

Пусть $q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n = Q/n$ и $S_i = L/n$, тогда

$$\Delta H = \frac{K \cdot L \cdot Q^r}{D^{2r+1}}$$

где $r = 1,852$ – постоянная; $C = 100$ – коэффициент шероховатости для алюминиевого трубопровода;

$$K = \frac{10,67}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \text{ – сопротивление трения (падение давления на метр трубы).}$$

Потеря напора на участке трубы от первого диктующего (хвостового) до второго разбрызгивателя [5]

$$\Delta H_{1-2} = \frac{K \cdot S_i \cdot Q^r}{D^{2r+1}}$$

Потеря напора на участке трубы между разбрызгивателями 2-3 от хвостового конца

$$\Delta H_{2-3} = \frac{K \cdot S_i \cdot (2q)^r}{D^{2r+1}}$$

Аналогично, потери напора между диктующим разбрызгивателем и n -ым от хвостового конца

$$\Delta H_{n\text{-диктующий}} = \frac{K \cdot S_i \cdot (nq)^r}{D^{2r+1}}$$

Суммарные потери в трубопроводе с учетом приведенных выше соотношений определяться конечной суммой в выражении

$$\Delta H_{\Sigma} = \frac{K \cdot S_i \cdot (q)^r}{D^{2r+1}} \cdot (1 + 2^r + \dots + n^r) = \frac{K \cdot S_i \cdot (q)^r}{D^{2r+1}} \cdot \sum_{i=1}^n i^r = \frac{K \cdot L \cdot Q_n^r}{D^{2r+1}} \cdot \frac{1}{n^{r+1}} \cdot \sum_{i=1}^n i^r = \frac{K \cdot L \cdot Q_n^r}{D^{2r+1}} \cdot F \quad (10)$$

где $F = \frac{1}{n^{r+1}} \cdot \sum_{i=1}^n i^r$ – коэффициент для потерь на трение в трубах с несколькими выходами.

Произведем расчет потерь напора основного трубопровода ШКДМ фирмы T-L Irrigation company длиной 325м, диаметром 16,8 см, состоящей из секций длиной 36,2 метра. Разбрызгиватели расположены на расстоянии 5,2 м и расходуют 16,8 л/мин. При этом, первый разбрызгиватель находится на расстоянии L_1 (рис. 2) равном длине отрезка L_2 (рис. 2) между точками крепления двух соседних дождевателей секции.



Рисунок 2 – Радиальная схема посадки дождевателей на основном трубопроводе широкозахватной круговой дождевальной машины фирмы T-L Irrigation company
 В соответствии со схемой посадки дождевателей (рис. 2), одна секция позволяет подключить к трубопроводу шесть разбрызгивателей. Значения коэффициента F для потерь на трение в алюминиевых трубах с несколькими выходами приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения поправочного коэффициента F ($L_1 = L_2$)

№ дождевателя от башни	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коэффициент F	1,0	0,625	0,518	0,469	0,440	0,421	0,408	0,398	0,391
№ дождевателя от башни	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Коэффициент F	0,385	0,380	0,376	0,373	0,370	0,367	0,365	0,363	0,361
№ дождевателя от башни	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Коэффициент F	0,360	0,359	0,358	0,357	0,356	0,355	0,354	0,353	0,352
№ дождевателя от башни	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Коэффициент F	0,351	0,3505	0,350	0,3495	0,349	0,3485	0,348	0,347	0,3465
№ дождевателя от башни	37	38	39	40	41	42	43	44	45

Энергетическое обеспечение производства аграрной продукции

Коэффициент F	0,346	0,3457	0,3454	0,345	0,3448	0,3446	0,3444	0,3442	0,344
№ дождевателя от башни	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Коэффициент F	0,3438	0,3436	0,3434	0,3432	0,343	0,3429	0,3428	0,3427	0,3426

В соответствии с данными табл. 1 число спринклеров на трубопроводе равно 54.

Общий расход через форсунки дождевателей

$$Q_{\Sigma} = 54 \cdot 16,8 / 60 = 15,12 \text{ л/сек.}$$

Потери на трение в алюминиевой трубе диаметром 16,8 см при расходе в ней 15,12 л/с = 0,52 м/100 м

В соответствии с уравнением Хейзена–Уильямса суммарные потери напора в трубопроводе определяются выражением

$$\Delta H_{\Sigma} = K_1 \cdot \left(\frac{Q_{\Sigma}}{C} \right)^{1,852} \cdot D^{-4,87} = 1,212 \cdot 10^{12} \cdot \left(\frac{15,12}{100} \right)^{1,852} \cdot 168^{-4,87} = 0,53 \text{ м} \quad (11)$$

Определим потери напора с использованием выражения (10), имеем

$$\begin{aligned} \Delta H_{\Sigma} &= \frac{K \cdot L \cdot Q_n^r}{D^{2r+1}} \cdot F = \frac{10,67}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \cdot \frac{L \cdot Q_n^r}{D^{2r+1}} \cdot F = \\ &= \frac{10,67}{120^{1,852} \cdot 0,168^{4,87}} \cdot \frac{325 \cdot 0,0003^{1,852}}{0,168^5} \cdot 0,3426 = 0,67 \text{ м} \end{aligned} \quad (12)$$

где $r=2$; $C=120$; $Q_n=16,8$ л/мин = 0,0003 м³/сек; $F=0,3426$ (табл. 1).

В полевых условиях были проведены эксперименты, позволившие оценить величину потерь из-за трения в основном трубопроводе ШКДМ фирмы T-L Irrigation company [6].

Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Потери давления в основном трубопроводе ШКДМ (материал трубопровода – оцинкованная сталь; длина – 325 метров)

Диаметр трубопровода, мм	168	168	168	168	168
Поток в трубе, л/с	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
Количество дождевателей находящихся в работе	54	54	54	54	54
Номер дождевателя для измерения потерь	12	24	36	48	54
Потери давления, кПа	1,45	2,7	4,3	5,5	6,2

Выводы. Выражения (11) и (12) позволяют получить значения потерь напора одного порядка величин, но имеют достаточно большое процентное отличие между двумя числами.

Поэтому, для повышения точности расчетов целесообразно рассмотреть уравнение (6) применительно к квазидинамическому установившемуся режиму работы трубопровода, полагая в уравнении (6) равной нулю величину V_t . В результате получим модифицированное, относительно исходного уравнения вида

$$gH_x + VV_x + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \quad (13)$$

Уравнение (13) является неопределенным, поэтому для нахождения его решения, необходимо составить систему из двух уравнений. Например, вторым уравнением системы может служить уравнение импульса для рассматриваемого трубопровода.

Список литературы

1. A. G. Chernykh Use of centrifugal pumps with canned asynchronous motors in sprinkler irrigation systems in a finely dispersed mode of operation // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 1138 (2023) 012004.
2. Беттесс Р., Уоттс Дж. Нестационарный поток и переходные процессы в жидкости. – 1992.
3. Бородин В.А. Распыливание жидкостей / В.А. Бородин. – М.: Машиностроение, 1967. – 262 с.
4. A. I. Esin and L. A. Zhuravleva, Studies of the characteristics of water flow in the water supply belt of a sprinkler machine, Scientific life, 2,16-25 (2018).
5. Пажу Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыления жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 254 с.
6. Черных А.Г. Структура и состав закрытой системы орошения с механическим подъемом воды и поливом широкозахватными круговыми дождевальными машинами / А.Г. Черных // Ежеквартальный научный журнал «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета» / СПбГАУ. – С.-Петербург, 2022. – Вып. 69 – С. 171-193.

Сведения об авторе

Черных Алексей Георгиевич - кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники энергетического факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежовского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: kandida2006@yandex.ru).

УДК 631.347

УРАВНЕНИЕ ИМПУЛЬСА ВОДЯННОГО ПОТОКА ОСНОВНОГО ТРУБОПРОВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Черных А.Г.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье приводятся теоретические и практические исследования на предмет получения соответствующих оценок на величины скорости и напора воды для заданного промежутка времени и длины произвольного участка эластичного трубопровода цилиндрической формы. Для достижения поставленной цели по получению поля скоростей и давлений в локальных точках по схеме посадки трубопровода приводится вывод модифицированного уравнения Эйлера основанного на сохранении массы воды для контрольного объема цилиндрической формы, увеличивающегося по мере удлинения трубы в продольном направлении. Синтезированное уравнение соответствует квазилинейному гиперболическому уравнению в частных производных в терминах двух зависимых переменных, скорости движения воды в трубе и высоты линии ее гидравлического уклона для заданных граничных и начальных условий, налагаемых на любой участок трубопроводной системы. Для типовой бочкообразно-боковой схемы установки разбрызгивателей на основном трубопроводе дождевальной машины проведен расчет потерь давления на стыке единичного разбрызгивателя и трубопровода. Доказана функциональная зависимость потерь давления от текущих значений коэффициентов расхода в точке стыка и взаимного расположения расчетных линий гидравлического уровня и сравнения. Применительно к модифицированному уравнению Эйлера, для получения величин начальных значений расходов и давлений на разбрызгивателях заданных типоразмеров, проведено исследование их работы в диапазоне рабочих напоров основного трубопровода широкозахватной дождевальной машины в полевых условиях.

Ключевые слова: дождевальная машина, расход, спринклер, трубопровод, напор.

EQUATION OF WATER FLOW IMPULSE OF THE MAIN PIPELINE OF A CIRCULAR SPRINKLER MACHINE

Chernykh A.G.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The paper presents theoretical and practical research for obtaining appropriate estimates on the values of water velocity and head for a given time interval and length of an arbitrary section of an elastic pipeline of cylindrical shape. In order to achieve the set objective of obtaining velocity and pressure fields at local points along the pipeline seating pattern, a modified Euler equation based on water mass conservation for a cylindrical shape control volume that increases as the pipe elongates in the longitudinal direction is derived. The synthesized equation corresponds to a quasilinear hyperbolic equation in partial derivatives in terms of the two dependent variables, the velocity of water in the pipe and the height of its hydraulic slope line for given boundary and initial conditions imposed on any section of the piping system. The calculation of pressure losses at the junction of a single sprinkler and a pipeline for a typical barrel-side scheme of installation of sprinklers on the main pipeline of a sprinkler machine is carried out. The functional dependence of pressure losses on current values of flow coefficients at the junction point and mutual location of design lines of hydraulic level and comparison is proved. As applied to the

modified Euler equation, in order to obtain values of initial flow rates and pressures on sprinklers of given sizes, their operation in the range of working pressures of the main pipeline of wide-spread sprinkler machine in the field conditions was studied.

Key words: sprinkler machine, flow, sprinkler, pipeline, head.

Практика эксплуатации дождевальных машин кругового действия позволяет выделить два основных фактора влияющих на производительность машины в широком смысле. Первый фактор связан с равномерностью и глубиной внесения влаги на орошаемую поверхность. Второй фактор определяет условия эксплуатации машины, включая воздействие на нее погодных условий. Обеспечение заданных параметров полива как объемных, так и временных требует регулировки величины и скорости подачи воды в соответствующие узлы и элементы системы дождевания как закрытых, так и связанных с атмосферой [1].

Давление в форсунке распылителя оказывает наибольшее влияние на процесс внесения влаги. Во-первых, увеличение давления вызывает увеличение расхода, и, как следствие, увеличивает объем вносимой в почву влаги. Во-вторых, увеличение расхода напрямую связано с увеличением скорости струи. В случае вращающихся разбрызгивателей это приводит к увеличению радиуса разбрасывания для всех размеров капель и, следовательно, увеличению площади смачивания. В-третьих, увеличение давления и скорости приводит к изменению разбиения струи и изменению распределения капель по размерам, что, в свою очередь, приводит к уменьшению размера капель в структуре распыления. Низкое давление уменьшит расстояние выброса и приведет к плохому разбиванию струи и образованию крупных капель. В результате интенсивного осаждения воды существенно уменьшается радиус смачивания. Высокое давление воды приводит к чрезмерному разрушению струи и образованию мелких капель, которые склонны к сносу ветром. Учитывая прямую связь между давлением на форсунке и давлением в подающем трубопроводе машины, регулировка давления является одной из основных задач управления поливом [2].

Для принятых на рис. 1 обозначений движущийся контрольный объем длиной δx в момент времени t можно считать неподвижным относительно трубы, так как он перемещается и растягивается только по мере перемещения и растягивания внутренней поверхности трубы. Закон сохранения массы в этом случае может быть сформулирован в виде утверждения о том, что временная скорость поступления массы в контрольный объем точно равна временной скорости увеличения массы внутри контрольного объема, т.е. [3]

$$-\left[pA(V-u)_x \right] \delta x = \frac{D'}{Dt} (pA\delta x) \quad (1)$$

Пусть восходящая поверхность достигает скорости x , а u – скорость стенки трубы в точке x . Полная производная по осевому перемещению трубы задается формулой

$$\frac{D'}{Dt} = u \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \quad (2)$$

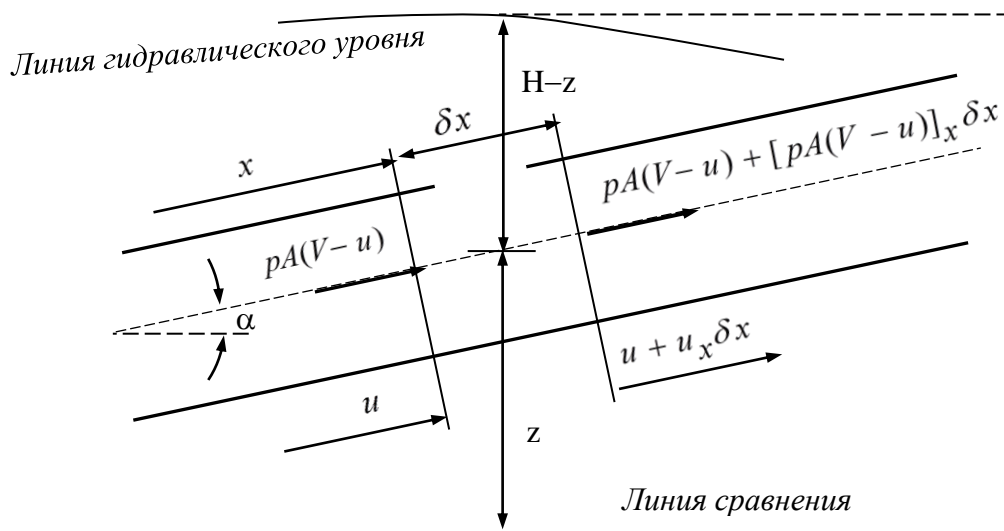


Рисунок 1 – Контрольный объем воды в цилиндрическом трубопроводе для уравнения неразрывности

Положим, что временная скорость увеличения длины x контрольного объема определяется выражением

$$\frac{D'}{Dt} \delta x = u_x \delta x \quad (3)$$

Принимая во внимание уравнение (3), уравнение (1) запишется

$$(pAV)_x - (pAu)_x + \frac{D'}{Dt} (pA) + pAu_x = 0 \quad (4)$$

Аналогично, выражение (4) с учетом (2) определится тождеством,

$$(pAV)_x - (pA)_x u - pAu_x + u(pA)_x + (pA)_t + pAu_x = 0 \quad (5)$$

или путем упрощения

$$(pAV)_x + (pA)_t = 0 \quad (6)$$

$$pAV_x + V(pA)_x + (pA)_t = 0 \quad (7)$$

Последние два члена в выражении (7) представляют производную от pA по отношению к движению контрольной массы

$$\frac{1}{pA} \frac{D}{Dt} (pA) + V_x = 0 \quad (8)$$

$$\frac{D}{Dt} = V \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t}$$

Раскрывая скобки в выражении (8) введем следующее обозначение над зависимой переменной, получим

$$\frac{1}{pA}(p\dot{A} + \dot{p}A) + V_x = 0 \quad (9)$$

или

$$\frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{p}}{p} + V_x = 0 \quad (10)$$

Расширение стенки трубы на единицу площади в единицу времени \dot{A}/A равно

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{p}D}{2eE} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{\pi D}{A} = \frac{\dot{p}D}{eE} = 2\dot{\xi}_T \quad (11)$$

Из соотношений коэффициента Пуассона [1]

$$\dot{\xi}_T = \frac{1}{E}(\dot{\sigma}_2 - \mu\dot{\sigma}_1) \quad (12)$$

Подставляя уравнения (11) и (12) в (10) имеем

$$\frac{2}{E}(\dot{\sigma}_2 - \mu\dot{\sigma}_1) + \frac{\dot{p}}{K} + V_x = 0 \quad (13)$$

Поперечное, или окружное, натяжение связано с давлением посредством тождества

$$\sigma_2 = \frac{pD}{2e}$$

или

$$\dot{\sigma}_2 = \frac{\dot{p}D}{2e} \quad (14)$$

Учитывая, что при движении контрольного объема диаметр D не изменяется со временем по сравнению с величиной давления p , то его производная равна нулю. Осевая скорость изменения напряжения сдвига стенки может быть формализована для трех ее значений в виде

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}_1 &= \frac{\dot{p}A}{\pi De} = \frac{\dot{p}D}{4e} \\ \dot{\sigma}_1 &= \mu\dot{\sigma}_2 \\ \dot{\sigma}_1 &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Преобразуем (13) с учетом (14) и (15), имеем

$$\frac{\dot{p}}{p} + a^2 V_x = 0 \quad (16)$$

где

$$a^2 = \frac{K/p}{1 + [(K/E) \cdot (D/e)] c_1}$$

Постоянная c_1 определяется для трех значений в тождествах (15) соответствующими выражениями

$$\begin{aligned} c_1 &= 1 - \frac{\mu}{2} \\ c_1 &= 1 - \mu^2 \end{aligned}$$

$$c_1 = 1$$

Введем в выражение (16) пьезометрический напор (рис. 1) и его производную с помощью выражений вида

$$p = \rho g (H - z) \quad (17)$$

$$\dot{p} = \rho g (\dot{H} - \dot{z}) = \rho g (VH_x + H_t - Vz_x - z_t) \quad (18)$$

Учитывая, что поперечного перемещения воды в контрольном объеме равно 0, а величина $z_x = \sin \alpha$, то преобразованное уравнение (16) равно,

$$VH_x + H_t + V \sin \alpha + \frac{a^2}{g} V_x = 0 \quad (19)$$

что соответствует квазилинейному гиперболическому уравнению в частных производных в терминах двух зависимых переменных, скорости V и высоты линии гидравлического уклона H , и двух независимых переменных, расстояния x вдоль трубы и времени t .

Для анализа установившегося процесса течения жидкости в двух трубопроводах соединенных по схеме ствол-бок (рис. 2) воспользуемся уравнением (19), предварительно выразив давление p в терминах пьезометрического напора H через соотношение $p = \rho g \cdot (H - z)$.

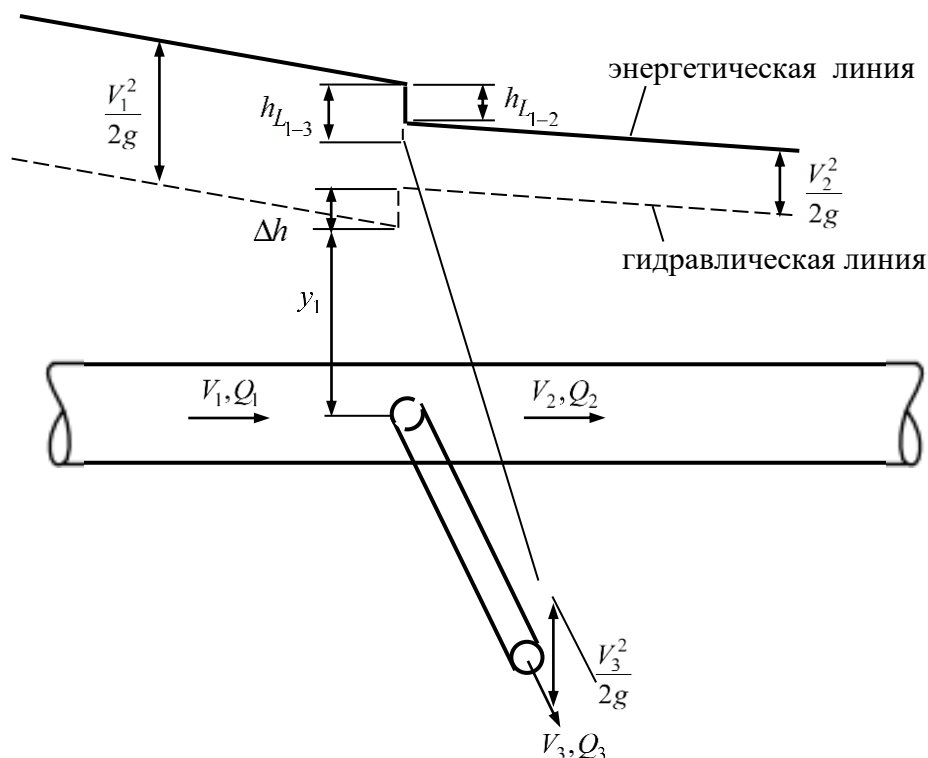


Рисунок 2 – Схема бочкообразно-бокового соединения двух трубопроводов с локальными обозначениями

На рис. 2 представлено графическое изображение уравнения Бернулли для установившегося движения потока воды в системе ствол-бок. Для основного и бокового трубопроводов вводится набор переменных с локальной нумерацией. Нижний индекс 1 обозначает переменную, которая определена выше по течению, т.е. в стволе. В свою очередь, нижний индекс 2 обозначает переменную, которая определена ниже по потоку от места стыка в основном

направлении. Нижний индекс 3 обозначает переменную, которая связана с боковым ответвлением. Энергетическая линия (рис. 2) имеет потери H_{L1-2} на стыке вдоль ствола, а также аналогичные потеря энергии H_{L1-3} , но связанные с потоком, переходящим в боковое ответвление. Гидравлическая линия уклона испытывает скачок Δh в точке стыка (рис. 2). Следует иметь в виду, что реальные гидравлические процессы, связанные с изменением энергии и давления воды в месте стыка представляют собой явления, которые происходят в большой, но конечной области потока, которые в линейном приближении могут быть сконцентрированы в точке. Благодаря присутствию в системе ствол-бок напряжения сдвига стенки, все участки энергетической линии наклонены вниз в направлении движения потока воды как в главном, так и в боковом направлениях. Адаптируя рассматриваемый пример к трубопроводу дождевальная машины предполагается, что боковой поток существует в виде струи, выходящей в атмосферу [4].

В соответствии с принятыми на рис. 2 обозначениями, превышение напора вдоль ствола составляет

$$\Delta h = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - h_{L1-2}$$

Операция деление приведенного выше тождества на скоростной напор на входе приводит к безразмерному коэффициенту повышения напора

$$\frac{\Delta h}{V_1^2/2g} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 - \frac{h_{L1-2}}{V_1^2/2g} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta h}{V_1^2/2g} = 1 - \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 - \frac{h_{L1-2}}{V_1^2/2g}$$

Учитывая принцип непрерывности потока, применительно к стыку, т.е. $Q_1 = Q_2 + Q_3$ имеем

$$\frac{\Delta h}{V_1^2/2g} = 1 - \left(1 - \frac{Q_3}{Q_1}\right)^2 - \frac{h_{L1-2}}{V_1^2/2g} = 2\left(\frac{Q_3}{Q_1}\right) - \left(\frac{Q_3}{Q_1}\right)^2 - \frac{h_{L1-2}}{V_1^2/2g} \quad (20)$$

В общем случае, с учетом выражения (20), коэффициент повышения напора является функцией двух безразмерных переменных, т.е.

$$\frac{\Delta h}{V_1^2/2g} = f\left(\frac{Q_3}{Q_1}, \frac{h_{L1-2}}{V_1^2/2g}\right) \quad (21)$$

В силу физической реализуемости, коэффициент превышения напора лежит в диапазоне значений

$$h_{L1-2} \in \left[0, \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}\right], \quad (22)$$

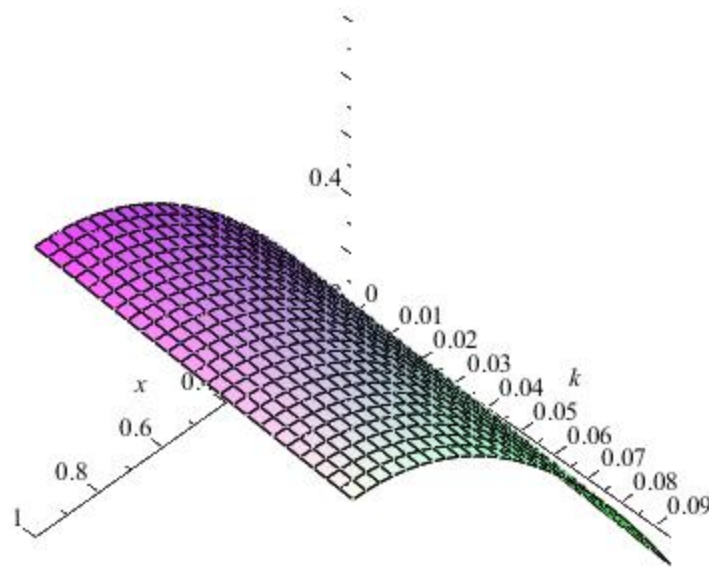
Тогда, выражение (2) с учетом (3) примет вид

$$\frac{\Delta h}{V_1^2/2g} = f\left(\frac{Q_3}{Q_1}, \frac{(V_1 - V_2)^2}{V_1^2}\right) \quad (23)$$

Введем обозначения и допущения, а именно:

$$y = \frac{\Delta h}{V_1^2/2g};$$

С учетом выражения (1) и (2) в системе ствольных труб, трехмерный график приведены на рисунке 3.



$$V_2 \in [0, 0,9\text{м/сек}].$$

где V_2 – скорость течения воды в системе ствольных труб, м/сек.
 y – коэффициент повышения давления в точке стыка ствольной трубы с разбрызгивателем.

Рисунок 3 – Ожидаемый диапазон коэффициентов повышения давления в точке стыка единичного разбрызгивателя с цилиндрическим трубопроводом

В полевых условиях были проведены эксперименты, позволившие оценить величину потерь из-за трения в основном трубопроводе ШКДМ фирмы T-L Irrigation company длиной 325м, диаметром основного трубопровода 16,8 см, состоящей из секций длиной 36,2 метра в осевом направлении которых подключено по шесть дождевателей с высотой свеса равной 1,8 метра (рис. 4).



Рисунок 4 – Радиальная схема посадки дождевателей на основном трубопроводе широкозахватной круговой дождевальной машины фирмы T-L Irrigation company. Для измерения давления по длине трубопровода на часть отводов к дождевателям, временно устанавливались заглушки. В нижнюю, по номеру крайнего дождевателя находящегося в работе, точку свеса линии подключался переносной аналоговый манометр типа Tim Y50-6ba [4]. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Потери давления в основном трубопроводе ШКДМ (материал трубопровода – оцинкованная сталь; длина – 325 метров)

Диаметр трубопровода, мм	168	168	168	168	168
Линейная скорость потока в трубе, м/с	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Количество дождевателей, ближайших к центральной поворотной башне, находящихся в работе	2	8	15	40	54
Потери давления, кПа	3,5	3,0	2,7	2,6	2,5

Выводы. Уравнение (19) является неопределенным, и для получения решения должно быть дополнено соответствующим, желательно линейным, уравнением некоторой системы. Пренебрежение нелинейным членом уравнения, содержащим квадрат скорости водяного потока, позволяет получить линейное уравнение. Пара линейных уравнений вновь образованной системы позволяет способом перекрестного дифференцирования исключить любую из двух зависимых переменных V или H в пользу другой и получить дифференциальное уравнение с одной переменной.

Список литературы

1. Журавлева Л.А., Попков И.А., Магомедов М.С., Хеирбеик Бассел. «Дождеватели широкозахватных дождевальных машин»: монография / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Хеирбеик Бассел – Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022г. –140 с.
2. A G Chernykh Use of centrifugal pumps with canned asynchronous motors in sprinkler irrigation systems in a finely dispersed mode of operation // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 1138 (2023) 012004.
3. 2. Беттесс Р., Уоттс Дж. Нестационарный поток и переходные процессы в жидкости. – 1992.
4. Bruce E. Larock Hydraulics of Pipeline Systems 1st Edition / Bruce E. Larock, Roland W. Jeppson , Gary Z. – Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press, 1999, – 533 p.
4. Черных А.Г. Структура и состав закрытой системы орошения с механическим подъемом воды и поливом широкозахватными круговыми дождевальными машинами / А.Г. Черных // Ежеквартальный научный журнал «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета» / СПбГАУ. – С.-Петербург, 2022. – Вып. 69 – С. 171-193.

Сведения об авторе

Черных Алексей Георгиевич - кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники энергетического факультета, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежовского

Энергетическое обеспечение производства аграрной продукции

(664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район,
kandida2006@yandex.ru).

п. Молодежный, e-mail:

УДК 631.173

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ
АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАБОЧИЕ ЛОПАТКИ
ТУРБОМАШИН**

Репецкий О.В., Нгуен В. М.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Вынужденный отклик высоконагруженных деталей представляет собой все более серьезную проблему проектирования по мере увеличения удельной мощности авиационных двигателей и турбомашин, вырабатывающих электроэнергию. Существует много факторов, которые влияют на интенсивность вынужденного воздействия в рабочих лопатках: температура и давление газа, скорость вращения ротора, аэродинамическое демпфирование, геометрические параметры сопловой решетки т.п. Но изменение этих факторов для уменьшения амплитуд вибрации может приводить к уменьшению мощности или увеличению веса самой турбины и в реальности, в многих случаях, это не применяется. В литературе было предложено несколько методов, которые не требуют изменений по условию эксплуатации турбомашин или по геометрическим параметрам лопаток, а воздействовать на аэродинамические силы путем изменения взаимодействия ротор-статор. Такими методами являются: использование синхронизации, соотношения количества лопаток, а также осевого зазора для снижения риска вынужденного отклика. Основной целью данной работе является численное исследование влияния соотношения количества лопаток и осевого зазора как методов снижения аэродинамического воздействия, а также одновременного влияния на эффективность работы.

Ключевые слова: аэродинамические характеристики, численное исследование, количество лопаток, осевой зазор, турбомашин, рабочие лопатки.

**NUMERICAL STUDY OF METHODS FOR REDUCING THE
AERODYNAMIC IMPACT ON WORKING BLADES OF TURBOMACHINES**

Repetckii O. V., Nguyen V. M.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Forced response presents a more and more severe design challenge as power densities of aircraft engines and power generation turbomachines increase. There are many factors that affect the intensity of the forced action in the working blades: gas temperature and pressure, rotor rotation speed, aerodynamic damping, geometric parameters of the nozzle array... But changing these factors to reduce vibration amplitudes can lead to a decrease in power or an increase in the weight of the turbine itself and in reality in many cases is not applied. Several methods have been proposed in the literature that do not require a change in the turbomachine operation condition or in the geometric parameters of the blades, but to affect the aerodynamic forces by changing the rotor-stator interaction. Such methods are: the use of synchronization, the ratio of the number of blades, as well as the axial gap to reduce the risk of forced actuation. The main purpose of this work is a numerical study of the effect of the ratio of the number of blades and the axial gap as methods of reducing aerodynamic impact, as well as the simultaneous effect on efficiency.

Keywords: aerodynamic characteristics, numerical study, number of blades, axial gap, turbomachines, working blades.

Введение

Возбуждение резонансных частот лопаток в поле вынужденного отклика происходит при относительном движении между рядами лопаток ротора и статора, а также при взаимодействии различных рядов лопаток, называемом взаимодействием ротор-статор. Однако источники возбуждения располагаются не только рядом с рядами лопаток, но и могут располагаться выше или ниже по потоку, в зависимости от задействованных физических явлений. Особенности течения, которые способствуют взаимодействию ротор-статор, могут быть разделены на вихревое, потенциальное и ударно-волновое взаимодействие [4].

Для воздействия на аэродинамические силы доступно несколько методов, но многие параметры задаются в процессе разработки термодинамической схемы и не подлежат изменению. В этом случае возможно использовать следующие методы: изменение соотношения шагов рабочих и направляющих лопаток, изменение длины осевого зазора, изменение относительного окружного положения лопастей друг к другу [1, 2, 3]. Эти методы не требуют изменения по условию эксплуатации турбомашин или по геометрическим параметрам лопаток, а воздействуют на аэродинамические силы путем изменения взаимодействия ротор-статор. Уменьшение аэродинамических сил на рабочие лопатки за счет использования этих методов должно быть тщательно рассмотрено с точки зрения форсирования и эффективности.

Экспериментальные исследования [9, 10] показали, что потенциальные поля влияют на рабочие лопатки, поскольку информация о давлении передается со скоростью звука. Воздействие потенциального поля на соседний ряд лопаток сильно зависит от расстояния. В целом воздействие потенциального поля экспоненциально уменьшается с расстоянием и поэтому имеет большее значение для небольших осевых зазоров. Поэтому увеличение длины осевого зазора может приводить к уменьшению амплитуды аэродинамических сил. Также увеличение количества направляющих лопаток, без увеличения размера лопатки, приводит к снижению потенциала возбуждения в результате больших потерь из-за трения. В ходе исследования влияния осевого зазора на демпфирование лопаток турбин [7] отмечено, что на аэродинамическое демпфирование также влияет количество лопаток.

Результаты численного исследования

Объекты исследования. В качестве объекта исследования был выбран аэродинамический профиль рабочего колеса. На рис.1а представлена расчетная модель ступени. Отношение количества направляющих и рабочих лопаток было подобрано равным единице, в соответствии с требованиями, накладываемыми методом *Преобразования по времени (Time Transformation)* [8]. Исходная длина зазора принимается 85 мм.

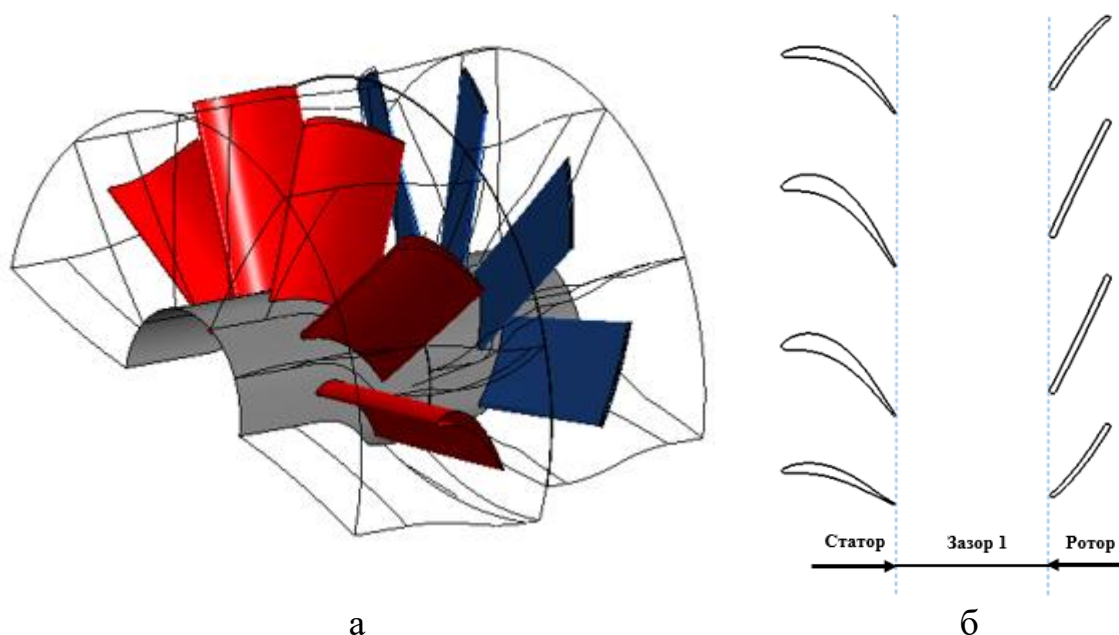


Рисунок. 1. Модельная ступень турбины (а) и плоскость пересечения на 0.5 радиуса колеса (б).

Основные геометрические и эксплуатационные характеристики исследуемых ступеней: отношение полного давления на входе к полному давлению на выходе достигало $P_0^*/P_2 = 1.5$, среднемассовая температура газа на входе в турбину составляла 441.6 К. Число Рейнольдса, посчитанное по параметрам на выходе и ширине профиля РЛ – $Re = 5.1 \cdot 10^5$. Скорость вращения ротора $\omega = 26.24$ 1/с получается из диаграммы Кэмпбелла с наиболее опасными гармониками.

Для расчета трехмерного вязкого нестационарного потока в проточных частях исследуемых турбинных ступеней был использован программный пакет Ansys CFX 18.2. В данном пакете реализованы методы вычислительной гидрогазодинамики (CFD), основанные на использовании нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS). Уравнения Навье-Стокса для сжимаемого потока являются уравнениями непрерывности, импульса и энергии в дифференциальной форме. В качестве модели турбулентности была выбрана одна из наиболее популярных на сегодняшний день модель SST Ментера, пригодная для расчета турбулентных течений в турбомашинах [5, 6].

Влияние соотношения шагов рабочих и направляющих лопаток t_2 / t_1
Коэффициент количества лопастей определяется в работе как отношение количества направляющих (t_1) к количеству рабочих (t_2) лопаток:

$$r = \frac{t_1}{t_2} \quad (1)$$

При исследовании влияния отношения шагов t_2 / t_1 обычно оставляют неизменной рабочую решетку, изменяя шаг направляющих лопаток t_1 (рис.2). В данной работе при исследовании влияния количества лопаток на аэродинамические силы, соотношение шагов лопаток изменяется от 1 до 1.5 и 2.

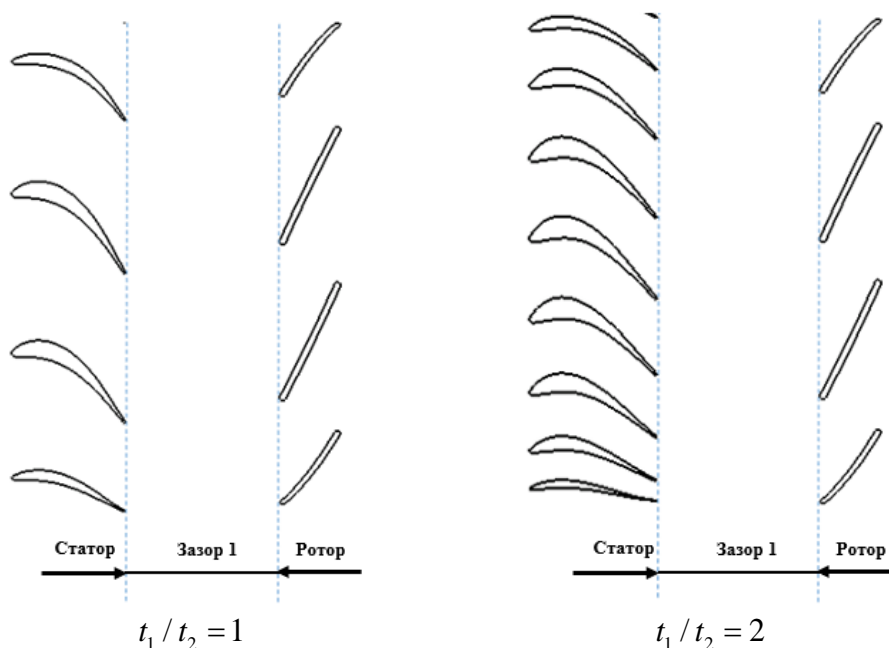


Рисунок. 2. Пример изменения соотношения количества лопаток.

Для трех вариантов был проведен расчет на эпюры пульсации интегральной силы по времени, результаты расчета представлены на рис.3. Видно, что изменение соотношения шагов лопаток не только выводит к изменению среднего значения но и частоты аэродинамических сил, действующих на рабочие лопатки. Частота аэродинамических сил пропорциональна числу направляющих лопаток. Средние по времени значения силы, приложенной к рабочим лопаткам: 274.4 Н при $r=1$, 270.1 Н для $r=1.5$ и 265.8 Н для $r=2$. При увеличении соотношения r от 1 до 1.5 среднее значение аэродинамической силы уменьшается на 1.6 %, а увеличении соотношения r от 1 до 2 среднее значение аэродинамической силы уменьшается на 3.1 %. Также уменьшается амплитуды колебания аэродинамических сил на рабочие лопатки.

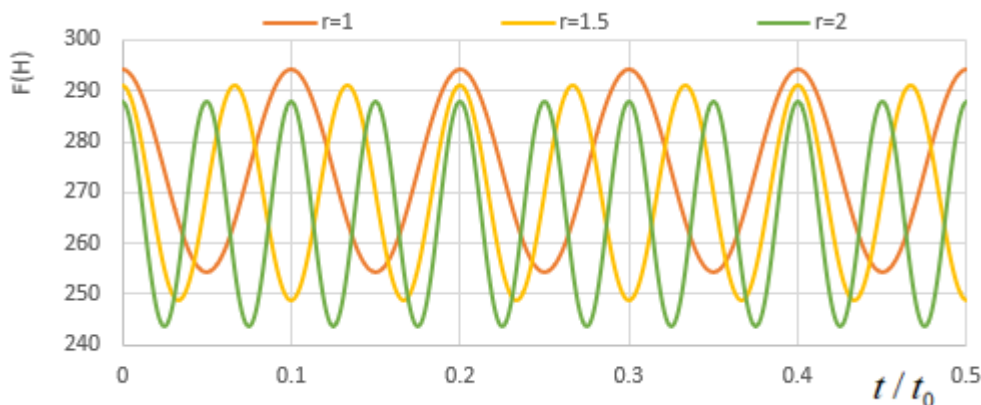


Рисунок. 3. Изменение по времени интегральной силы F , действующей на РЛ.

Осевой зазор

На данном этапе рассматривается влияние длины осевого зазора на аэродинамические характеристики течения потока газа на рабочие лопатки. Осевой зазор, как правило, представляет собой расстояние между двумя соседними рядами лопаток (см. рис. 4). В зависимости от назначения турбомашины, т. е. используется ли она для выработки электроэнергии или для

авиационных двигателей, осевой зазор может существенно варьироваться. Чтобы уменьшить вес и размер, имеется тенденция в авиационных двигателях, которая приводит к уменьшению осевых зазоров. При этом более высокая нагрузка на лопатки может быть достигнута при уменьшении расстояния между ними.

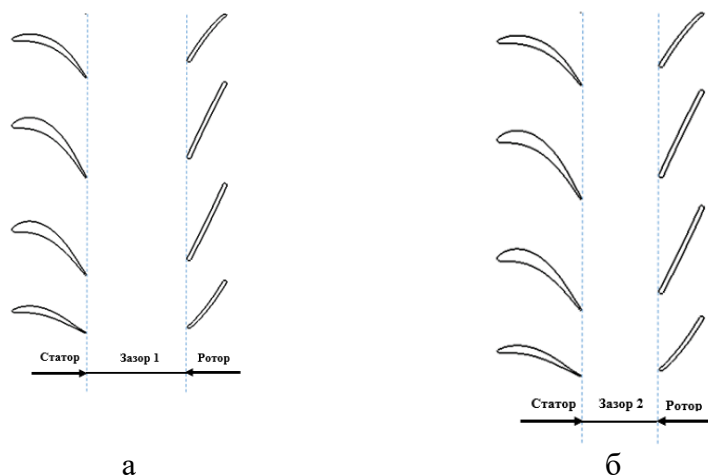


Рисунок 4. Пример большого(а) и маленького(б) осевого зазора

При изменении длины осевого зазора на ступени частота аэродинамических сил, действующих на рабочие лопатки не изменяется. Поэтому интересны только величины амплитуд аэродинамических сил и скорости на выходе ротора. Результат численного исследования показывается на рис.5, где горизонтальная ось представляет нормированную длину осевого зазора, а вертикальная ось обозначает нормированную амплитуду (относительно начального варианта). Видно, что при уменьшении длины осевого зазора на 20%, амплитуда аэродинамических сил увеличивается на 7.7 %, а средняя скорость потока на выходе увеличивается на 5.2 %. При увеличении длины осевого зазора на 20%, амплитуда аэродинамических сил понижается на 5.2 %, а средняя скорость потока на выходе понижается на 3.6 %. Увеличение длины осевого зазора может приводить к увеличению вибропрочности рабочих колес турбомашин, но с другой стороны уменьшается эффективность турбины.

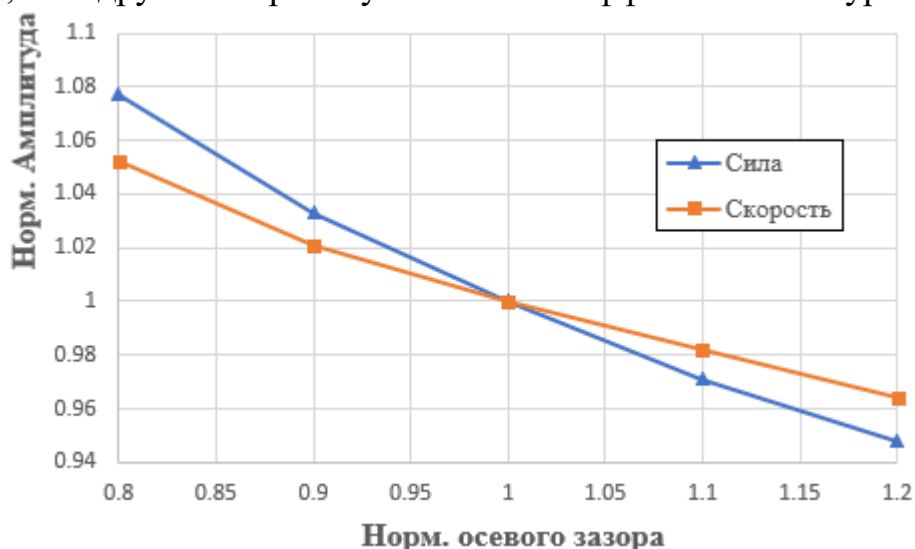


Рисунок 5. Пример для большого(а) и маленького(б) осевого зазора.

Выводы

В рамках этой работы было рассмотрено численное исследование влияния изменения соотношения числа лопаток и изменения осевого зазора между статором и ротором. Изменение числа направляющих лопаток и соотношения числа лопаток обычно приводят не только к изменению среднего значения но и частоты аэродинамических сил, действующих на рабочие лопатки. Следовательно, за счет изменения соотношения числа лопаток может быть изменена амплитуда воздействия, но также могут быть приносить опасность из-за резонанса за пределы рабочего диапазона. В результате изменения осевого зазора при уменьшении длины осевого зазора на 20%, амплитуда аэродинамических сил увеличивается на 7.7 %, а средняя скорость потока на выходе увеличивается на 5.2 %. При увеличении длины осевого зазора на 20%, амплитуда аэродинамических сил понижается на 5.2 %, а средняя скорость потока на выходе понижается на 3.6 %.

Результаты данного численного исследования на академическом рабочем колесе будут использованы для проектирования реальных конструкций газотурбинных двигателей и служить основой для моделирования комбинированных методов снижения аэродинамической сил на рабочие лопатки.

Список источников

1. Караджи С.В., Тумашев Р.З. Сравнение аэродинамических характеристик лопаточных венцов с различной формой оси лопатки // Журнал Сибирского федерального университета. Инженерия и технологии 3 – 2012 – с. 245-257.
2. Коленько Г.С., Ласкин А.С. Нестационарные и осредненные аэродинамические нагрузки, действующие на рабочие лопатки разной геометрии // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки – 2020 – Т. 26 – № 1 – С.15–28.
3. Кухтин Ю.П., Шакало Р.Ю. Снижение вибронпряженности попарно бандажированных рабочих лопаток турбины. *Авіаційно-космічна техніка і технологія* – 2020 – № 7(167).
4. Паровые и газовые турбины для электростанций / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний // Учебник для вузов. Издательский дом МЭИ.– Москва, 2016. – С. 452–473.
5. Репецкий О.В. Компьютерный анализ динамики и прочности турбомашин / О. В. Репецкий. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. – 301 с.
6. Репецкий О.В., Нгуен В.М. Применение методов моделирования аэродинамических сил на рабочих лопатках турбомашин // Научно–практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”. – 2022. – № 43. – 7 с.
7. Benini E., Toffolo A.: Towards a Reduction of Compressor Blade Dynamic Loading by Means of Rotor-Stator Interaction Optimization. In: ASME–Paper, vol. 5, 8 p. ASME Turbo Expo 2002. <https://doi.org/10.1115/GT2002-30396>
8. Dirk, W., Derek, M., Ronald, M.: Comparison of transient blade row methods for the CFD analysis of a high–pressure turbine. In: Proceedings of ASME, vol. 2D, 11 p. ASME Turbo Expo, Germany (2014). DOI:10.1115/GT2014-26043
9. Fruth, F.: Reduction of Aerodynamic Forcing in Transonic Turbomachinery. Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2013, 193 p.

10. Lei Huang, Hua Chen: A novel design method of variable geometry turbine nozzles for high expansion ratios. 17th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, 11 p, 2017.

Сведения об авторах

Репецкий Олег Владимирович – доктор технических наук, профессор, проректор по международным связям Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-он, п. Молодежный, тел. +7 3952 237438, e-mail: repetskii@igsha.ru).

Нгуен Ван Мань – Аспирант Иркутского ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-он, п. Молодежный, e-mail: manhzhucov@gmail.com).

ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Асалханов П.Г., Калинин Н.В., Иваньо Я.М.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) все активнее проникают во многие сферы человеческой деятельности, и сельское хозяйство не является исключением. Применение ИИ позволяет решать актуальные задачи повышения эффективности производства, оптимизации использования ресурсов и обеспечения устойчивого развития аграрного сектора. В работе приведены перспективные направления развития технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве. Рассмотрены различные типы систем искусственного интеллекта, их принципы работы, сферы применения, достоинства, недостатки и риски. Сформулированы главные аспекты будущего развития систем и технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве. Проанализированы основные тенденции и особенности использования систем искусственного интеллекта в сельском хозяйстве России. Уделено внимание процессу подготовки специалистов, способных работать с передовыми технологиями и интеллектуальными системами, и выделены рекомендуемые меры по подготовке специалистов в области сельского хозяйства в цифровой интеллектуальной образовательной среде. Кроме того, показана важность государственной поддержки для развития интеллектуальных систем в сельском хозяйстве, включая создание программ и грантов, развитие инфраструктуры и обеспечение доступности информационных ресурсов. Обсуждены вызовы и препятствия, связанные с применением ИИ в сельском хозяйстве: доступность данных, сложность внедрения, этические и юридические аспекты.

Ключевые слова: системы искусственного интеллекта, сельское хозяйство, нейронные сети, машинное обучение, компьютерное зрение.

TRENDS IN THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN AGRICULTURE

Asalkhanov P.G., Kalinin N.V., Ivanyo Ya.M.

Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Modern technologies of artificial intelligence (AI) are increasingly penetrating into many areas of human activity, and agriculture is no exception. The use of artificial intelligence allows solving urgent problems of increasing production efficiency, optimizing the use of resources and ensuring the sustainable development of the agricultural sector. The paper presents promising directions for the development of artificial intelligence technologies in agriculture. Various types of artificial intelligence systems, their operating principles, areas of application, advantages, disadvantages and risks are considered. The major aspects of the future development of artificial intelligence systems and technologies in agriculture are formulated. The main trends and features of the use of artificial intelligence systems in Russian agriculture are analyzed. Attention is paid to the process of training specialists capable of working with advanced technologies and intelligent systems. Measures for the training of specialists in the field of agriculture in a digital intellectual educational environment are highlighted. In addition, the importance of state support for the development of intelligent systems in agriculture, including the creation of programs and grants, infrastructure development and ensuring the availability of information resources, is shown. The challenges and obstacles associated with the

use of artificial intelligence in agriculture were discussed: data availability, implementation complexity, ethical and legal aspects.

Keywords: artificial intelligence systems, agriculture, neural networks, machine learning, computer vision.

Введение. Искусственный интеллект (ИИ) имеет потенциал для революции в сельском хозяйстве, обеспечивая эффективное управление производством, оптимизацию ресурсов, автоматизацию процессов и улучшение качества продукции [6].

Предиктивная аналитика. ИИ используется для анализа данных о климате, почве, воздухе, растениях и животных, чтобы предсказывать оптимальное время для посева, уборки урожая, а также для предупреждения о возможных болезнях или вредителях.

Автономные технологии. Робототехника и дроны с ИИ могут использоваться для автоматизации процессов в сельском хозяйстве, таких как посадка, полив, уборка урожая и обнаружение болезней или вредителей. Это может снизить затраты на рабочую силу и повысить эффективность производства [4].

Умное управление ресурсами. ИИ может помочь сельским хозяйственным предприятиям оптимизировать использование воды, удобрений и пестицидов, а также контролировать энергопотребление. Это может снизить негативное воздействие сельского хозяйства на окружающую среду и повысить устойчивость производства [3].

Обработка изображений. ИИ может быть использован для анализа изображений растений и животных с помощью компьютерного зрения, что позволяет выявлять заболевания, вредителей и дефекты растений, а также контролировать состояние животных [5].

Прогнозирование рынка. ИИ может помочь предпринимателям в сельском хозяйстве прогнозировать рыночные тенденции, анализировать спрос и предложение на продукцию, определять оптимальные цены и управлять снабжением [10].

Поддержка решений. ИИ может предоставлять рекомендации и поддерживать принятие решений в реальном времени, основываясь на данных о состоянии почвы, погоде и агротехнологиях.

В аграрных университетах, в которых осуществляется образовательная, научная и производственная деятельность, системы искусственного интеллекта имеют особое значение, поскольку применимы для всех этих направлений.

Целью этой работы является краткий обзор возможности применения систем искусственного интеллекта в аграрном вузе.

Материалы и методы. При подготовке статьи использованы литературные источники по разработке, распространению и использованию систем искусственного интеллекта в образовательной, научной и производственной деятельности.

В качестве методов использованы анализ и систематизация информации.

Основные результаты. В таблице приведены различные типы систем искусственного интеллекта, их принципы работы, сферы применения, достоинства, недостатки и риски.

Таблица - Сравнения характеристик различных типов систем искусственного интеллекта

№ п.п.	Название системы	Принцип работы	Сфера применения	Достоинства	Недостатки	Риски
1	ИИ-диагностика	Машинное обучение	Обнаружение болезней и паразитов у растений и животных	Быстрота и точность диагностики	Требуется обновление данных	Ошибки в диагностике
2	Прогнозирование урожая	Машинное обучение, нейросети	Анализ и прогнозирование урожайности	Возможность анализа больших объемов данных, точность прогнозов	Зависимость от качества данных	Ошибки в прогнозировании
3	Умные теплицы	Интеграция ИИ с IoT	Автоматизация и оптимизация процессов в теплице	Увеличение эффективности производства, экономия ресурсов	Высокая стоимость	Ошибки в управлении системами
4	Роботы-агрономы	Мобильные роботы с ИИ	Мониторинг и уход за посевами	Снижение трудозатрат, повышение эффективности	Высокая стоимость	Потеря контроля над роботами
5	Автоматизированные системы посева и уборки	ИИ и автономные транспортные средства	Автоматизация процессов посева и уборки урожая	Сокращение трудозатрат, увеличение эффективности	Высокая стоимость, потребность в регулярном обслуживании	Аварии и проблемы с безопасностью
6	ИИ для оптимизации ирригации	Использование данных с датчиков и машинное обучение	Оптимизация полива сельскохозяйственных культур	Экономия водных ресурсов, улучшение качества почвы	Зависимость от качества данных	Некорректный расчет водного баланса
7	Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с ИИ	Использование алгоритмов машинного обучения и нейросетей	Мониторинг состояния посевов, анализ рельефа и др.	Повышение эффективности мониторинга, возможность анализа больших территорий	Правовые ограничения, зависимость от погодных условий	Проблемы с безопасностью и конфиденциальностью данных
8	ИИ для оптимизации кормления животных	Использование данных о состоянии животных и их потребностях	Рациональное кормление животных	Экономия кормов, улучшение здоровья животных	Сложность внедрения на некоторых фермах	Ошибки в расчете рациона
9	ИИ для прогнозирования рыночных цен	Машинное обучение, анализ рыночных данных	Прогнозирование цен на сельскохозяйственную продукцию	Повышение конкурентоспособности, оптимизация стратегии продаж	Зависимость от качества данных	Неточные прогнозы, влияние на рыночную ситуацию
10	Биоинформатика и селекция с использованием ИИ	Анализ генетических данных и алгоритмы машинного обучения	Селекция и генетическая инженерия сельскохозяйственных растений и животных	Ускорение процесса селекции, улучшение качества сельскохозяйственной продукции	Высокая стоимость, требования к квалификации персонала	Этические вопросы, непредсказуемые последствия внесения изменений в геном

К основным аспектам будущего развития систем и технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве можно отнести следующие.

1. Интеграция ИИ во все сферы аграрного сектора для обеспечения повышения производительности труда и снижение затрат на производство.

2. Расширение использования беспилотных летательных аппаратов и других автономных технологий для мониторинга и управления сельскохозяйственными процессами.

3. Развитие генетической инженерии и селекции с применением ИИ, что приведет к созданию новых сортов и пород сельскохозяйственных растений и животных с высокими адаптивными и продуктивными характеристиками.

4. Увеличение числа стартапов и компаний, занимающихся разработкой и внедрением интеллектуальных систем в сельском хозяйстве, что обеспечит быстрое распространение новых технологий и решений.

5. Усиление роли цифровых образовательных платформ в подготовке специалистов сельскохозяйственного профиля, что позволит быстрее и эффективнее обучать кадры для работы с новыми технологиями.

6. Разработка и применение ИИ в области агроэкологии для мониторинга состояния окружающей среды и определения оптимальных практик сельского хозяйства.

7. Увеличение внимания государства к развитию сельскохозяйственных технологий на основе ИИ и активное предоставление государственной поддержки в виде финансирования и регулирования.

8. Рост международного сотрудничества в области агротехнологий, особенно в разработке и применении систем искусственного интеллекта.

9. Более широкое использование ИИ для анализа и прогнозирования рынка сельскохозяйственной продукции, что поможет управлять рисками и оптимизировать цепочку поставок.

10. Углубление интеграции ИИ с другими передовыми технологиями, такими как блокчейн, большие объемы данных и интернет вещей (IoT), для создания комплексных решений и инноваций в сельскохозяйственной отрасли [9].

Особенности использования систем искусственного интеллекта (ИИ) в сельском хозяйстве России включают несколько аспектов [1, 2].

Во-первых, это разнообразие климатических и географических условий, что требует разработки и применения разных систем ИИ, которые учитывают различия в климате, почве, культурах растений и других факторах, связанных с сельским хозяйством.

Во-вторых, это недостаток доступных данных. Одним из вызовов применения ИИ в сельском хозяйстве России является недостаток доступных данных о почве, климате, агротехнике и других аспектах производства. Такой фактор может ограничивать возможности разработки и оптимизации систем ИИ, требующих больших объемов данных для обучения и принятия решений.

В-третьих, это наличие нескольких масштабов производства. Сельское хозяйство России включает как малые и средние хозяйства, так и крупные

агропромышленные комплексы, что предполагает разработку и адаптацию систем ИИ к таким условиям.

В-четвертых, это необходимость адаптации к многообразным местным условиям. Для успешного применения систем ИИ в сельском хозяйстве России важно учитывать локальные особенности - традиции и культурные аспекты, правовые и регуляторные рамки, а также экономические и социальные условия. Это требует глубокого понимания особенностей сельского хозяйства в России и адаптации систем ИИ под эти условия.

И наконец, это поддержка государственных и научных инициатив. В России проводятся государственные и научные инициативы по развитию сельского хозяйства и применению инновационных технологий, включая ИИ.

Отметим, что применение искусственного интеллекта (ИИ) в сельском хозяйстве России способствует необходимости решения этических и юридических вопросов. Это касается автоматизации и замены рабочей силы, конфиденциальности и защиты данных, генетической модификации, регуляторных и юридических ограничений, а также ответственности и прозрачности в принятии решений с помощью автоматизированных систем. Решение подобных вопросов позволит гарантировать этическое и законное использование ИИ в сельском хозяйстве и минимизировать потенциальные риски и негативные последствия.

Для успешного развития интеллектуальных систем в сельском хозяйстве необходимо активное взаимодействие государства, научно-образовательной среды и бизнеса. Обучение кадров, способных работать с передовыми технологиями, является одним из ключевых условий успешного внедрения ИИ. Цифровые образовательные платформы и специализированные программы помогут обеспечить подготовку высококвалифицированных специалистов для аграрного сектора.

Приведенные направления использования систем искусственного интеллекта имеют хорошую перспективу для развития производственной деятельности учебных хозяйств, в которых выполняются функции по внедрению передовых разработок и практической подготовке студентов аграрных вузов.

В дополнение к этому выделим следующие меры по подготовке специалистов в области сельского хозяйства в цифровой интеллектуальной образовательной среде:

1. Обеспечение доступности и качества образовательных программ и курсов, адаптированных к цифровому интеллектуальному пространству и потребностям рынка труда.

2. Создание лабораторий и практических площадок для обучения студентов и специалистов работе с ИИ-системами в аграрной сфере.

3. Развитие системы непрерывного образования для подготовки кадров к интеграции ИИ-технологий и инновационным решениям в сельском хозяйстве.

4. Взаимодействие с международными партнерами и обмен опытом в области использования искусственного интеллекта в аграрном секторе.

Рассмотрим направления и меры государственной поддержки для развития интеллектуальных систем в сельском хозяйстве.

Государственная поддержка важна для развития интеллектуальных систем в сельском хозяйстве и может проявляться в форме финансирования исследовательских проектов и стартапов, создания налоговых льгот, развития инфраструктуры, регулирования правового поля, обеспечения доступа к образовательным ресурсам, формирования международных партнерств, поддержки малого и среднего бизнеса, проведения обучающих семинаров и конференций, и разработки стратегий и программ развития цифровых технологий и ИИ в аграрном секторе.

Разнообразие применения ИИ в аграрной отрасли отражает важность интеграции новых технологий во все сферы деятельности. Однако важно учитывать и риски, связанные с внедрением интеллектуальных систем - безопасность и конфиденциальность данных, потенциальная уязвимость к кибератакам, этические стороны.

Выводы. Успешное использование искусственного интеллекта в сельском хозяйстве требует комплексного подхода и учета многочисленных факторов. Совместные усилия государства, предприятий, образовательных учреждений и научных организаций способствуют формированию цифровой аграрной инфраструктуры и интеллектуальных систем, которые станут основой успешного и устойчивого развития сельского хозяйства в будущем [7, 8].

Системы искусственного интеллекта могут внести значительный вклад в сельскохозяйственную отрасль, повышая эффективность производства и устойчивость экосистемы. Развитие этих технологий в аграрном секторе может улучшить качество продукции, сэкономить ресурсы и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Успешное внедрение ИИ в сельское хозяйство требует комплексного подхода и активной поддержки со стороны государства, образовательной системы и частного сектора.

Искусственный интеллект становится все более важным инструментом развития сельского хозяйства, позволяющим снижать затраты, повышать урожайность и оптимизировать процессы. Однако успех его применения во многом зависит от качества образования и подготовки специалистов, а также от активного сотрудничества между государством, предприятиями и образовательными учреждениями.

Исследование выполнено на базе федеральной инновационной площадки Иркутского аграрного университета имени А.А. Ежевского, составляющей инновационную инфраструктуру в сфере высшего образования и соответствующего дополнительного профессионального образования (приказ Минобрнауки России — Об утверждении перечня организаций от 25.12.2020 № 1580).

Список литературы

1. Асалханов П.Г. Структура программно-аппаратной платформы и определение типовых ИТ-технологий в отраслях растениеводства и животноводства Иркутской области / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик // Цифровые технологии и системы в сельском хозяйстве Материалы международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 3-10.

2. Асалханов П.Г. Цифровая трансформация сельского хозяйства по созданию облачной многофункциональной платформы "Умный фермер 4.0" / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иванько, А.И. Лобыцин // Актуальные вопросы аграрной науки. - 2019. - № 31. - С. 39-47.
3. Буклагин Д.С. Цифровые технологии управления сельским хозяйством / Д.С. Буклагин // Международный научно-исследовательский журнал. - 2021. - № 2-1 (104). - С. 136-144.
4. Духнич Е.Д. Компьютерная диагностика транспортных средств / Е.Д. Духнич, С.Н. Шуханов // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. материалы всероссийской научно-практической конференции. - 2020. - С. 168-172.
5. Калинин Н.В. О технологиях машинного зрения в сельском хозяйстве / Н.В. Калинин // Научный электронный журнал Меридиан. - 2020. - № 3 (37). - С. 60-62.
6. Интеллектуальные системы в сельском хозяйстве / О.Г. Каратаева [и др.] // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Материалы XI Международной научно-практической интернет-конференции. - 2019. - С. 268-271.
7. Квасова А.А. Цифровизация сельского хозяйства как категория: состояние и перспективы развития / А.А. Квасова, Э.И. Козленко // Лучший исследовательский проект 2021. сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск. - 2021. - С. 108-114.
8. Федоров Д.Е. Обзор цифровых технологий в сфере сельского хозяйства / Д.Е. Федоров // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2021. Сборник материалов. Казань, 2021. - С. 716-720.
9. Федотова Г.В. Интеллектуальные тренды развития АПК / Г.В. Федотова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. - 2019. - Т. 9. - № 4 (33). - С. 84-95.
10. Ivanyo Ya.M. Management of the agro-industrial enterprise: optimization uncertainty expert assessments / Ya. M. Ivanyo, P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019.

Сведения об авторах

Асалханов Петр Георгиевич - кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89500621107, e-mail: asalkhanov@mail.ru).

Калинин Николай Владимирович – кандидат экономических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89834171755, e-mail mwwm@list.ru).

Иванько Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования института экономики, управления и прикладной информатики. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8(3952)237491, e-mail: iasa_econ@rambler.ru).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА СВИНЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОПОТОКА

**Асалханов П.Г., Беляков В.О., Петрова С.А., Артеменко К.М., Жеребцов А.О.,
Николаев М.Е., Шварев Н.С., Шишман К.Е.**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Последние несколько лет в мире активно проводятся исследования и разработка систем видео-аналитики на основе технологий компьютерного зрения. В частности, применительно к сельскому хозяйству, актуальной является задача мониторинга сельскохозяйственных животных для определения их состояния и разных физических параметров, в т.ч. одного из основных - веса. Целесообразным является создание информационной системы, которая будет способна определять живой вес животного по видеопотоку в режиме реального времени. Это позволит упростить и ускорить процесс определения веса животных на предприятиях, занимающихся разведением свиней. В работе описаны традиционные способы определения веса свиней на основе замеров. Выявлены преимущества бесконтактной технологии оценки веса свиней на основе анализа видеопотока. Определены основные требования к разрабатываемой системе определения веса свиней на основе технологии компьютерного зрения и выбран инструментарий для разработки. Описаны методика формирования наборов данных для обучения нейросети на основе видеопотока. Разработана нейронная сеть для определения контура животного на видеопотоке и создан алгоритм определения веса животного на основании полученного контура. Кроме того, в работе описаны интерфейс системы и технические требования для ее функционирования, приведены особенности разработанной информационной системы и определены перспективы ее развития.

Ключевые слова: компьютерное зрение, определение веса свиней, искусственный интеллект, нейронные сети, анализ видеопотока.

DETERMINATION OF WEIGHT PIGS ON THE BASIS ANALYSIS OF VIDEO STREAM

**Asalkhanov P.G., Belyakov V.O., Petrova S.A., Artemenko K.M., Zherebtsov A.O., Nikolayev M.E.,
Shvarev N.S., Shishman K.Ye.**

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Over the past few years, research and development of video analytics systems based on computer vision technologies have been actively carried out in the world. In particular, in relation to agriculture, the task of monitoring farm animals to determine their condition and various physical parameters, incl. one of the main ones is weight. It is expedient to create an information system that will be able to determine the live weight of an animal from a video stream in real time. This will simplify and speed up the process of determining the weight of animals in pig breeding enterprises. The paper describes the traditional methods for determining the weight of pigs based on measurements. The advantages of non-contact technology for assessing the weight of pigs based on the analysis of the video stream are revealed. The main requirements for the developed system for determining the weight of pigs based on computer vision technology have been determined and tools for development have been selected. A technique for generating data sets for training a neural network based on a video stream is described. A neural network has been developed to determine the contour of an animal on a video stream, and an algorithm for determining the weight of an animal based on the obtained contour has been created. In addition, the

paper describes the interface of the system and the technical requirements for its operation, presents the features of the developed information system and determines the prospects for its development.

Keywords: computer vision, pig weight determination, artificial intelligence, neural networks, video stream analysis.

Применение цифровых технологий в сельскохозяйственном производстве – актуальная задача, которая в свою очередь включает в себя накопление и обработку больших объемов данных, применение систем искусственного интеллекта, датчиков, роботизированных устройств, специализированных информационных систем и т.д. [2, 6 и др.].

С развитием современной компьютерной техники и устройств для видео- и фотосъемки стала актуальной и возможной для решения задач автоматизированной обработки данных в виде изображений и видеопотока – применение машинного зрения для решения прикладных задач [1, 7]. Результаты такой обработки, на сегодняшний день, применяются во многих областях человеческой деятельности и, в частности, в сельском хозяйстве. Например, анализ поведения сельскохозяйственных животных и птиц для определения их индивидуальных параметров и выявления падежа, распознавание образов для автоматизации движения сельскохозяйственной техники, функционирования электронных пастухов, определения фазы развития и зрелости сельскохозяйственной культуры, заболевания растения, картирование полей при помощи информации с беспилотных летательных аппаратов и спутников, охранные системы, и т.д.

Экспертные и интеллектуальные системы, основанные на алгоритмах компьютерного зрения, становятся обычной частью управления аграрным производством [8]. Существующие в этой отрасли системы требуют совершенствования как методической и научной базы, так и технической реализации. В частности, одной из актуальных задач в сельском хозяйстве является автоматизация определения веса животных, находящихся на выращивании и откорме, которую можно решить при помощи видео аналитики. На сегодняшний день в мире решением этой задачи занимаются разные разработчики, например, авторами [9] проанализирован опыт определения живой массы крупного рогатого скота при помощи обработки изображений.

Таким образом, цель данной работы заключается в создании информационной системы, для автоматизированного определения живого веса свиньи по видеопотоку в режиме реального времени. Это позволит упростить, улучшить по некоторым параметрам и ускорить процесс определения веса животных на предприятиях, занимающихся разведением свиней.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи как:

- формирование требований к разрабатываемой системе;
- выбор инструментария для разрабатываемой системы;
- сбор и разметка набора данных (датасета) для обучения нейросети;
- разработка нейронной сети для определения контура животного на видеопотоке;

- создание алгоритма для определения веса животного на основании полученного контура;
- разработка интерфейса системы;
- тестирование системы.

Перечислим некоторые требования, качества и функции разрабатываемой системы: автоматическое определение веса свиньи по данным видеопотока в режиме реального времени; хранение полученных данных для дальнейшей обработки; кроссплатформенность; расширяемость.

В животноводстве существует два метода определения живой массы сельскохозяйственных животных: путем взвешивания через определенные промежутки времени, путем измерения линейных промеров статей тела. Для взвешивания используются стационарные или передвижные весы. Промеры берутся измерительными приборами (мерная палка, мерная лента, мерный циркуль) [5].

Классический метод определения живой массы животных имеет ряд трудностей, такие, как: затраты достаточно большого количества времени и трудовых ресурсов, размеры животных (например, крупный рогатый скот) вызывают трудности при загоне животных на весы и взятие промеров; дополнительный стресс у животного.

Чтобы сделать данный процесс более практичным и экономичным, необходимо применять новые технологии ведения животноводства. Одним из таких методов является бесконтактное определение живой массы животных

Живая масса свиней по промерам определяется несколькими способами [10].

1. По формуле с использованием промеров тела с учетом категории упитанности:

$$\text{Ж. М.} = \frac{Д \times О}{К} \quad (1)$$

где Ж.М. – живая масса, кг; Д – длина туловища, см; О – обхват туловища за лопатками, см; К – коэффициент упитанности, для свиней, имеющих высшую упитанность коэффициент равен 142, среднюю – 156, низкую – 162.

2. По формуле:

$$\text{Ж. М.} = 1,54 \times О + 0,99 \times Д - 150 \quad (2)$$

3. С использованием специальной таблицы для определения живой массы по вышесказанным промерам. На пересечении значений промеров можно найти показатель живой массы животного. Следует помнить, что погрешность определения веса по таблице у свиней может составить от 4 до 11 % [4, 5].

Применение разрабатываемой системы для определения веса сельскохозяйственного животного имеет ряд преимуществ перед классическими способами:

- уменьшение времени, затрачиваемого на определение веса свиней;
- возможность постоянного мониторинга продуктивности животных, который позволяет быстрее скорректировать условия кормления и содержания животных при недостаточном наборе массы
- снижение затрат на приобретение, содержание и обслуживание оборудования для взвешивания свиней;
- снижение затрат на оборудование;
- снижение трудовых ресурсов;
- уменьшения стресса животных при взвешивании;
- снижение риска получения травм животных и оператора в процессе взвешивания классическим способом;
- потенциальное увеличение точности взвешивания за счет отсутствия необходимости фиксации животного на весах.

Возможным недостатком определения живой массы бесконтактным методом является неточное определение живой массы, что влечет за собой неверные показатели продуктивности и, как следствие, неправильно рассчитанные рационы кормления.

При разработке информационной системы использованы инструменты: язык программирования Python; среда разработки PyCharm Community Edition 2021.3; интерактивная облачная среда разработки Google Colaboratory; библиотека Keras; графический редактор Adobe Photoshop; видео редактор iMovie (для раскадровки); для реализации интерфейса можно использовать Django и kubernetes [3, 11, 12].

В первом приближении физические параметры животного определяются путем соответствия эталонных изображений животных определенной породы, подготовленных экспертом в определенной области. Для обучения нейронной сети использовались изображения в цветовом пространстве HSV, которая выбрана по причине возможности оперировать всем спектром цветов при помощи одной переменной. Вес свиньи определяется на основании площади животного на изображении, которая получена путем создания маски исходного изображения, на которой выделяется животное (рисунок 1).

Объем животного по маске на изображении можно определить по формуле:

$$Ж. М. = К \times П^{1,5}, \quad (3)$$

где Ж.М. – живая масса свиньи, кг; К – коэффициент; П – отношение площади контура к площади всего изображения, %. Коэффициент К может быть подобран аналитическим путем и должен быть уточнен на основании реальных данных в виде процесса и результатов взвешивания свиней на сельскохозяйственном предприятии.

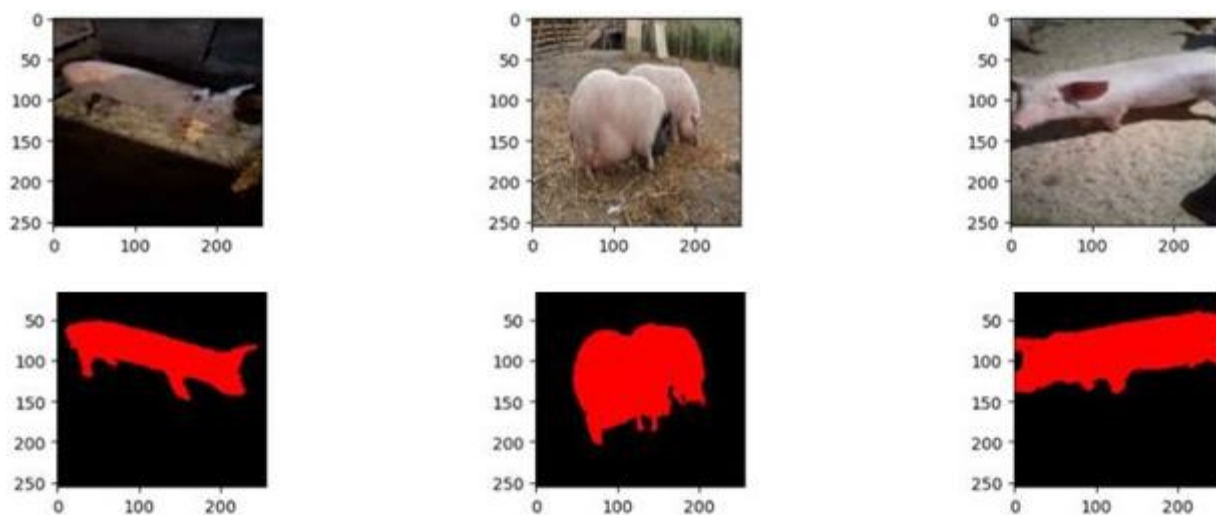


Рисунок 1 – **Определение контура свиньи при помощи разработанной нейронной сети**
верхний ряд – исходные изображения;
нижний ряд – маска изображения, на которой выделено животное

В результате проделанной работы: 1) разработана нейронная сеть для определения контура животного на видеопотоке; 2) создан алгоритм определения веса животного на основании полученного контура; 3) разработан макет web-интерфейса системы (рисунок 2); 4) система апробирована на небольшом количестве тестовых данных.



Рисунок 2 – **Макет web-интерфейса информационной системы по определению веса свиней на основании данных видеопотока**

При этом при использовании этой системы существует ряд технических требований: одновременное нахождение в кадре только одного животного, определенное расстояние от камеры до животного и угол съемки.

В качестве дальнейшего развития системы необходимо:

1) расширение датасета для переобучения нейросети с целью повышения точности;

2) разработка функции определения животных на видеопотоке и их подсчета при условии непрерывного движения в рамках произвольного участка помещения (например, с использованием технологии object detection);

3) разработка базы данных для автоматического внесения результатов определения параметров каждого конкретного животного;

4) увеличение количества поддерживаемых видеокамер (видеопотоков) для съемки животного с разных ракурсов.

В заключение отметим, что разработанная в первом варианте информационная система способствует ускорению процесса взвешивания и может сделать его менее травмоопасным и более дешевым. Кроме того, масштабируемость данной системы позволяет использовать её для решения других задач, связанных с содержанием свиней на сельскохозяйственных предприятиях.

Исследование выполнено на базе федеральной инновационной площадки Иркутского аграрного университета имени А.А. Ежевского, составляющей инновационную инфраструктуру в сфере высшего образования и соответствующего дополнительного профессионального образования (приказ Минобрнауки России — Об утверждении перечня организаций от 25.12.2020 № 1580).

Список литературы

1. Барский, А.Б. Логические нейронные сети: Учебное пособие / А.Б. Барский. - М.: Бином, 2013. – 352 с.

2. Барсукова, М. Н. О задачах и рисках трансформации цифровых технологий в сельском хозяйстве Иркутской области / М. Н. Барсукова, Я. М. Иваньо, С. А. Петрова // Цифровые технологии и системы в сельском хозяйстве: Материалы международной научно-практической конференции (п. Молодежный, 08 - 10 октября 2019 г.). – Изд-во Иркутский ГАУ, 2019. – С. 10-22.

3. Дейтел Пол Python: Искусственный интеллект, большие данные и облачные вычисления (Серия «Для профессионалов») / Пол Дейтел, Харви Дейтел. — СПб.: Питер, 2020. – 864 с.

4. Жаймышева С.С. Технология производства и переработки продукции свиноводства : учебное пособие / С.С. Жаймышева, В.И. Косилов, Т.Г. Герасимова. — Оренбург : Оренбургский ГАУ, 2022. – 144 с.

5. Лебедько Е.Я. Определение живой массы сельскохозяйственных животных по промерам: практ. руководство / Е. Я. Лебедько. - М. : Аквариум-Принт, 2016. – 48 с.

6. О создании больших объёмов данных для управления процессом получения продовольственной продукции в регионе / Я. М. Иваньо [и др.] // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 23 - 24 сентября 2021 г.). – Молодёжный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2021. – С. 167-176.

7. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В.Г. Редько. - М.: Ленанд, 2019. – 224 с.

8. Рыбаков А.В. Проектирование робототехнических манипуляторов с системой компьютерного зрения для сбора томатов / А.В. Рыбаков [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 3 (51). – С. 135–147.

9. Соляник С.В. Методология проведения дистанционной и бесконтактной бонитировки животных / С.В Соляник, В.В Соляник // Зоотехническая наука Беларуси. 2019 - Т.54(1) – С. 123-134.

10. Шеховцев Г.С. Мировой опыт определения живой массы КРС / Г.С. Шеховцев, И.П. Прохоров, А.Н. Пиккуль // . – 2021. – № 5(171). – С. 132-134. – DOI 10.24412/cl-33489-2021-5-132-134.

11. Элбон Крис Машинное обучение с использованием Python. Сборник рецептов: Пер. с англ / Крис Элбон. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019. – 384 с.

12. Добро пожаловать в Colaboratory! [*Электронный ресурс*]. – Режим доступа: <https://colab.research.google.com/?hl=ru#scrollTo=-Rh3-Vt9Nev9>.

Сведения об авторах

Асалханов Петр Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89500621107, e-mail: asalkhanov@mail.ru).

Беляков Вячеслав Олегович – аспирант 3-го года обучения по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 89148791195, e-mail: surelok1@yandex.ru).

Петрова Софья Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 89149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru).

Артеменко Кристина Михайловна – магистрант 1-го курса направления подготовки 36.04.02 Зоотехния, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 89526157312, e-mail: akmrussia2001@mail.ru).

Жеребцов Александр Осипович – магистрант 1-го курса направления подготовки 09.04.03 Прикладная информатика, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 89500992460, e-mail: mr.zherebtsov.2000@mail.ru).

Николаев Матвей Евгеньевич – бакалавр 4-го курса направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 879245487437, e-mail: mathewmcangel@gmail.com).

Шварев Никита Сергеевич – бакалавр 4-го курса направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 89149147681, e-mail: rector@igsha.ru).

Шишман Каролина Евгеньевна – бакалавр 3-го курса института экономики управления и прикладной информатики, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 89996433190, e-mail: k.shishman@mail.ru).

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ «1С: ПРЕДПРИЯТИЕ» В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ДАННЫХ ОБ АГРАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЗАЦИИ

Баймаков А.А., Замараев А.О., Иваньо Я.М.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В статье рассматриваются различные аспекты использования программного продукта «1С: Предприятие» и программного интерфейса приложения (API) для мониторинга данных производственных процессов в сельском хозяйстве. С помощью «1С: Предприятие» можно осуществлять посредством API взаимодействие с разными источниками информации: устройствами, расположенными на технике, оборудовании или животных; метеорологическими станциями; беспилотными летательными аппаратами. Затронуты вопросы автоматического сбора и анализа метеорологических данных с использованием API сервисов и их интеграции с программным продуктом «1С: Предприятие». Рассмотрено использование API-интерфейсов для решения задач, связанных с мониторингом полевых работ, в частности, оценкой топливных ресурсов и объемом выполненных полевых работ. Описаны возможности по сбору данных о ценах на семена, сельскохозяйственную продукцию и удобрения. Выделена функция интеграции программного продукта с системами управления, например, системой мониторинга производства и поставок продукции для обеспечения надежности выполнения операций. Применение API предполагает сбор и обработку данных для определения состояния и развития сельскохозяйственных культур и прогнозирования урожаев с учетом влияния на производство экстремальных событий. Программный продукт «1С: Предприятие» позволяет применять управленческие решения на различных уровнях - от оперативного решения до стратегического планирования.

Ключевые слова: сельское хозяйство, 1С: Предприятие, мониторинг, датчики, программный интерфейс приложения.

SOFTWARE PRODUCT "1С: ENTERPRISE" IN THE MONITORING SYSTEM OF DATA ON AGRICULTURAL PRODUCTION OF THE ORGANIZATION

A. A. Baimakov, A. O. Zamaraev, Y. M. Ivanyo

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The article discusses various aspects of using the 1С: Enterprise software product and the API application programming interface for monitoring data of production processes in agriculture. With the help of "1С: Enterprise" it is possible to interact with various sources of information through the API: devices located on machinery, equipment or animals; meteorological stations; unmanned aerial vehicles. The issues of automatic collection and analysis of meteorological data using API services and their integration with the 1С: Enterprise software product are touched upon. The use of API for solving problems related to monitoring field work, in particular, the assessment of fuel resources and the amount of field work performed, is considered. Opportunities for collecting data on prices for seeds, agricultural products and fertilizers are described. The function of integrating the software product with management systems, for example, a system for monitoring the production and supply of products to ensure the reliability of operations, is highlighted. The use of the API involves the collection and processing of data to determine the state and development of crops and forecast yields, taking into account the impact on production of extreme events. The software product "1С: Enterprise" allows you to apply management decisions at various levels - from operational decisions to strategic planning.

Keywords: agriculture, 1С: Enterprise, monitoring, sensors, application programming interface.

Введение. Программный продукт «1С: Предприятие» широко используется в различных отраслях бизнеса, в том числе в аграрном

производстве. Он представляет собой универсальную систему учета и управления, которая может быть настроена под конкретные потребности каждой организации. В данной статье рассмотрено как «1С: Предприятие» может быть использовано в системе мониторинга данных об аграрном производстве.

Система мониторинга данных об аграрном производстве – это комплекс мероприятий, направленных на сбор и анализ информации о процессах, происходящих в хозяйствах различных категорий сельскохозяйственных товаропроизводителей. Эта информация включает в себя данные о подготовке к посеву, посевах, уходе за сельскохозяйственными культурами, уборке урожая, погодных условиях, хранении урожая и других характеристиках, которые влияют на получаемые объемы и качество продукции [3, 4]. Система мониторинга данных позволяет сельскохозяйственным товаропроизводителям получать актуальную информацию о процессах производства, переработки и реализации продукции для принятия эффективных управленческих решений [7, 8].

Цель данной работы состоит в анализе программного продукта «1С: Предприятие», который можно использовать на разных этапах процесса производства сельскохозяйственной продукции, для решения оперативных и плановых задач. Для достижения цели решались следующие задачи:

1) проанализировать программный продукт «1С: Предприятие» для получения, сбора и мониторинга данных о технологиях производства сельскохозяйственной продукции;

2) оценить состояния и технологии получения информации на различных этапах производства сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методы. В работе использованы научные труды различных авторов по вопросам мониторинга данных о технологиях получения сельскохозяйственной продукции, оценки состояния информационного обеспечения для решения задач управления производственными процессами.

Программный продукт «1С: Предприятие» предлагается использовать в системе мониторинга данных об аграрном производстве для автоматизации процессов сбора и анализа информации.

В работе использован метод анализа и систематизации информации, а также проектирования информационных систем.

Основные результаты. Одной из ключевых функций программного продукта в системе мониторинга данных является возможность создания отчетов и аналитических документов на основе собранных данных. С помощью «1С: Предприятие» можно создавать отчеты о текущем состоянии угодий, анализировать урожайность и выявлять проблемы, требующие решений. Полученная информация может быть использована для принятия решений на разных этапах производственных процессов.

Сельское хозяйство относится к сферам экономики, требующим обработки большого объема информации для оперативных и стратегических решений. Информация поступает от различных устройств, расположенных в поле, на ферме, агротехнике, метеорологических станциях, дронах и других

платформах [5]. Количество полученной информации способствует формированию больших объемов данных, хранение которых приводит к лишним затратам и дополнительному использованию квалифицированных специалистов по обслуживанию оборудования. Вместе с тем можно уменьшить затраты на производство благодаря сервисам, взаимодействующим со средствами программный интерфейс приложения (API). Кроме того, в дополнение к количественной информации часть сведений может быть получена с помощью экспертных оценок [1, 2, 6, 10].

Работа API представляет собой передачу данных по определенному запросу со стороны клиента или другого приложения с получением ответа в виде структурированных данных для дальнейшей обработки. Существуют сервисы, взаимодействующие напрямую с метеостанциями и обладающие информацией о текущей погоде в конкретном месте. Кроме того, можно получать значения об осадках и температурах воздуха и почвы за определенный период в разрезе суток, месяцев, многолетнего периода и сохранить их в базе данных для последующей работы [13].

Приведем примеры использования программного продукта «1С: Предприятие» и API в системе мониторинга данных об аграрном производстве.

1. Автоматический сбор и анализ метеорологических данных с использованием API сервисов, таких как OpenWeatherMap, и их интеграция в систему «1С: Предприятие» для управления производством и принятия решений в реальном времени на основе изменений погодных условий. Получение информации о метеорологических характеристиках позволяет оперативно оценивать ситуацию о состоянии и развитии растений, а также возможные потери в результате сильных ливней, засушливых явлений, заморозков и других экстремальных событий. На основе разработанных факторных моделей возможно прогнозирование урожаев сельскохозяйственных культур.

2. Использование API-интерфейсов для сбора и обработки данных с датчиков и IoT-устройств, что позволяет получать информацию о технологических процессах на разных стадиях производственных процессов. В частности, определяются объемы потребления ГСМ и выполненных полевых работ с оценкой их качества, а также дальнейшие планы на следующий период.

3. Интеграция с API для сбора данных о ценах на семена, удобрения и других продуктов, а также о рыночных ценах на продукцию для принятия эффективных решений по продаже и закупкам продукции. Детальный анализ рынка позволяет осуществлять выбор необходимой продукции для закупки с минимизацией затрат. Это же касается продажи продукции по оптимальным ценам.

4. Реализация API-интерфейса для интеграции с другими системами управления, например, с системами отслеживания состояние производства и поставок продукции для обеспечения точного и своевременного анализа данных. Такое направление особенно интересно предприятиям, осуществляющим большие объемы поставок в географически разные части региона, страны и

другие государства, поскольку позволяет оптимизировать процессы поставок продукции.

5. Разработка API для автоматизации процессов сбора и обработки данных, включая определение развитие сельскохозяйственных культур и прогнозирование урожая [14]. Здесь большое значение имеет процесс получения информации с беспилотных летательных аппаратов и спутников для мониторинга состояния биомассы растений на полях и определения сроков уборки и оценки урожая для выполнения уборочных работ. При этом благодаря получению точных снимков оцениваются возможные потери урожая.

Эти примеры могут помочь современным аграрным предприятиям оптимизировать производственные процессы, улучшить качество продукции и повысить эффективность бизнеса в целом [11, 12].

Система мониторинга данных об аграрном производстве с использованием «1С: Предприятие», можно применять для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. С помощью анализа собранных данных определяются факторы, которые оказывают наибольшее влияние на урожайность. Использование спутниковой информации и факторных зависимостей способствуют разной оценке урожая для более надежного результата. В свою очередь прогностические данные позволяют планировать производство сельскохозяйственной продукции на основе использования различных математических моделей для оптимизации получения сельскохозяйственной продукции. Информационное, алгоритмическое и математическое обеспечение для программного продукта «1С: Предприятие» позволяет, в конечном итоге, применять управленческие решения на различных уровнях - от оперативного решения до стратегического планирования [7, 9].

Важным преимуществом системы мониторинга данных об аграрном производстве с использованием «1С: Предприятие», является ее масштабируемость. Программный продукт может быть настроен под конкретные потребности каждой организации и использоваться для мониторинга данных, как небольших фермерских хозяйств, так и крупных агрохолдингов [9, 14, 15].

Выводы. Система мониторинга данных об аграрном производстве с использованием «1С: Предприятие» представляет собой мощный инструмент для сбора, анализа, прогнозирования и планирования производственных процессов в сельском хозяйстве.

Она позволяет сельскохозяйственным товаропроизводителям получать актуальную информацию о деятельности для улучшения производительности и качества продукции. Программный продукт «1С: Предприятие» является универсальной системой, которая может быть настроена под конкретные потребности каждой организации и использоваться, как для небольших фермерских хозяйств, так и крупных агрохолдингов.

Список литературы

1. Асалханов П.Г. Экспертные оценки в задачах оптимизации производства продовольственной продукции / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2019. - Т. 46. - № 2. - С. 50-60.
2. Асалханов П.Г. Модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с экспертными оценками своевременности посева / П.Г. Асалханов, Я.М. Иваньо, М.Н. Полковская //Моделирование систем и процессов. - 2019. - Т. 12. - № 3. – С 5-10.
3. Баймаков А.А. Применение больших объемов данных в агропромышленном комплексе /А.А. Баймаков, А.О. Замараев, Я.М. Иваньо //В сборнике: Комплексное развитие сельских территорий.

Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения Почетного работника высшего профессионального образования РФ, кандидата экономических наук, профессора Зверева Александра Федоровича. - п. Молодежный, 2022. - С. 26-32.

4. Баймаков А.А. Использование данных мониторинга процессов аграрного производства для принятия управленческих решений /А.А. Баймаков, А.О. Замараев, Я.М. Иванько //В сборнике: Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти А.А. Ежевского. - п. Молодежный, 2022. - С. 178-187.

5. Бендик, Н. В. Концептуальная модель хранилища данных для эффективного ведения сельского хозяйства в регионе / Н. В. Бендик, Я. М. Иванько // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы VII международной научно-практической конференции, Иркутск, 24–26 мая 2018 года. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2018. – С. 159-166.

6. Бузина Т.С. Оптимизация взаимодействия участников кластера по получению пищевой дикорастущей продукции в регионе /Т.С. Бузина, Я.М. Иванько, С.А. Петрова //Лесной вестник. Forestry Bulletin. - 2020. - Т. 24. - № 4. - С. 138-149.

7. Виды весенних полевых работ в сельском хозяйстве, 2021 /(Электронный ресурс). Режим доступа: URL: <https://vspashkazemli.ru/pokos-travyi/vidyi-vesennix-polevyix-rabot-v-selskom-hozyajstve.html> (дата обращения: 5.03.2022).

8. Датчики мониторинга сельхозтехники: какие параметры контролируем и что это дает /(Электронный ресурс]): URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/datchiki-monitoringa-selkhoztekhniki/> (дата обращения 5.03.2022).

9. Котин, Михаил 1С: Предприятие 8.2. Управление небольшой фирмой / Михаил Котин. - М.: Питер, 2020 – 320 с..

10. О создании больших объёмов данных для управления процессом получения продовольственной продукции в регионе / Я. М. Иванько, С. А. Петрова, П. Г. Асалханов [и др.] // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: Материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 23–24 сентября 2021 года. – Молодёжный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2021. – С. 167-176.

11. Применение ГИС для обеспечения технологии «точного земледелия / (Электронный ресурс): URL: <https://gisinfo.ru/item/65.htm> (дата обращения 5.03.2022).

12. Расчет индексов состояния урожая с квадрокоптера / (Электронный ресурс): URL: <https://enterprise.4vision.ru/otrasli/selskoe-hoziaistvo/raschet-indeksov/>(дата обращения 5.03.2022).

13. Сенсорные датчики управляют нормой внесения азотных удобрений / (Электронный ресурс): URL: http://agro-soft.ru/images/stories/dannii/agro-soft_agromarket_may.pdf (дата обращения 5.03.2022).

14. Система картирования урожайности / (Электронный ресурс): URL: https://agro.topcon.pro/resheniya/system_yieldtrakk/ (дата обращения 5.03.2022).

15. Сторублевцева П. М. Применение технологий точного земледелия в Иркутской области / П. М. Сторублевцева, Я. М. Иванько // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 марта 2019 года. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2019. – С. 118-124.

Сведения об авторах

Баймаков Александр Александрович – аспирант кафедры информатики и математического моделирования института экономики управления. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8(3952)237491, e-mail: web@igsha.ru

Замараев Алексей Олегович - аспирант кафедры информатики и математического моделирования института экономики управления. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8-904-145-33-52, e-mail: 1C@irsau.ru

Иванько Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования института экономики, управления и прикладной информатики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237491 e-mail: iasa_econ@rambler.ru).

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ

Белякова А.Ю., Бузина Т.С., Иваньо Я.М.
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Многокритериальные модели математического программирования используются для решения различных задач экономики. Они нашли широкое применение при моделировании разных сторон деятельности агропромышленного комплекса. В данной статье рассмотрено применение методов многокритериальной оптимизации для управления производством сельскохозяйственной продукции при взаимодействии перерабатывающего предприятия и производителей. При этом предложено, чтобы критерии оптимальности и ограничения были связаны с параметром, характеризующим время. Наличие устойчивых трендов позволяет на основе экстремальной задачи планировать производство и переработку согласно устойчивым тенденциям. Сформулирована двухкритериальная задача однопараметрического программирования. Выделены возможные варианты этой экстремальной задачи, которая применима при наличии значимых трендов, описывающих динамику коэффициентов и правых частей ограничений. Прикладная многокритериальная задача решена с помощью метод последовательных уступок. В качестве критериев оптимальности использованы прибыли перерабатывающих предприятий от производства и реализации продуктов питания и прибыли от продаж продукции сельскохозяйственными товаропроизводителями.

Многокритериальная модель параметрического программирования применена для оптимизации производства и переработки молока на примере Усольского района Иркутской области. Решение задачи позволило оптимизировать взаимодействие участников производства и переработки сельскохозяйственной продукции и определить направление улучшения их деятельности.

Ключевые слова: многокритериальная задача, задача параметрического программирования, перерабатывающее предприятие, производственное предприятие, сельское хозяйство.

MULTI-CRITERIA PROBLEM OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF PRODUCTION AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Belyakova A. Yu., Buzina T. S., Ivano Ya. M.
FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Multicriteria problems of mathematical programming are used to solve various economic problems. In particular, they have found wide application in modeling various aspects of the activity of the agro-industrial complex. This article discusses the application of multicriteria optimization methods for managing the production and processing of agricultural products in the interaction of a processing enterprise and producers. At the same time, it is proposed that the optimality criteria and restrictions be associated with a parameter that characterizes time. The presence of stable trends makes it possible to plan production and processing on the basis of an extreme task. A two-criteria problem of one-parameter programming is formulated. Possible variants of this extremal problem, which is applicable in the presence of significant trends that describe the dynamics of the coefficients and the right parts of the constraints, are highlighted. The applied multicriteria problem is solved using the method of successive concessions. The profits of processing enterprises from the production and sale of food products and profits or proceeds from sales of products by agricultural producers were used as optimality criteria.

A multicriteria parametric programming model was implemented to optimize the production and processing of milk on the example of the Usolsky district of the Irkutsk region. The solution of the problem made it possible to optimize the interaction between the participants in the production and processing of agricultural products and determine the direction for improving their activities.

Key words: multicriteria problem, parametric programming problem, processing enterprise, manufacturing enterprise, agriculture.

Введение. Многокритериальные задачи широко используются для решения многих задач экономики в условиях определения компромиссных вариантов достижения поставленной цели между не менее чем двумя участниками. В работе [8] приведены примеры применения многокритериальных задач в энергетике. Эффективность использования многокритериальных задач в преподавании показана авторами статьи [12]. В работе [3] многокритериальная задача использована для комплексной оценки уровня жизни. Поскольку многие производственные задачи приходится решать в условиях неопределенности многих характеристик в статье [2] предложено использовать нечетко-множественные задачи с многокритериальной оптимизации в условиях рисков. В дополнении к этой идее авторами [15] предложено многокритериальное управление системами с распределенными параметрами при условии, что характеристики рассматриваемых объектов являются интервальными. В работах [4, 5, 6] рассмотрены прикладные многокритериальные модели для решения задач оптимизации участников агропромышленных кластеров и заготовителей пищевых дикорастущих ресурсов. При этом рассмотрены детерминированные задачи и задачи в условиях неопределенности, для решения которых эффективен метод статистических испытаний [17].

Для решения многокритериальных задач применяются различные методы. Авторами [1] рассматривается локализация множества Парето минимаксных задач. Решение задач с многоцелевыми функциями сетевого планирования с нечеткими ограничениями ресурсов приведено в статье [7]. Принцип приближения по всем локальным критериям к идеальному решению использован в работе [13], а в [14] предложено применять метод свертки в задачах с неопределенностью. Автором статьи [16] описан обобщенный метод множества эквивалентности для решения многокритериальных задач.

Некоторые характеристики, входящие в модели, могут быть описаны значимыми регрессионными зависимостями. В этом случае применимы задачи параметрического программирования - детерминированные и с неопределенными оценками [9, 10]. Причем число параметров может быть разным [11]. Очевидно, что встречаются случаи многокритериальной параметрической оптимизации.

Многокритериальная задача параметрического программирования - это задача оптимизации, в которой необходимо найти набор значений характеристик модели, удовлетворяющий заданным критериям оптимальности. При этом решения задачи связаны с параметрами. Эта задача имеет практическое значение в сельском хозяйстве, например, при сочетании интересов производителей и переработчиков продукции.

Таким образом, целью работы является описание многокритериальных задач параметрического программирования и их применение для оптимизации сочетания отраслей производства и переработки сельскохозяйственной продукции.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть многокритериальные задачи параметрического программирования;
- реализовать одну из сформулированных задач.

Материалы и методы. В работе использованы результаты научных работ разных авторов: по многокритериальной оптимизации и прикладным задачам параметрического программирования. Для реализации задачи с многими целевыми функциями и параметром использованы данные по производству молока в Усольском районе. В работе применены методы построения многокритериальных задач и задач параметрического программирования и их решения. При реализации конкретной модели использован метод последовательных уступок.

Задача решена по двум критериям оптимальности: максимуму прибыли перерабатывающих предприятий от производства и реализации продуктов питания и максимуму прибыли от реализации продукции сельскохозяйственными товаропроизводителями.

Основные результаты. Многокритериальная модель включает в себя: обобщенные показатели работы предприятия, производящего сельскохозяйственную продукцию, и перерабатывающего предприятия. Каждый из участников имеет собственную цель.

Первый критерий f_1 , характеризующий максимум прибыли перерабатывающего предприятия, записывается в виде:

$$f_1 = \sum_{v \in V} c_v(t)x_v^I - \sum_{q \in Q} c_q(t)x_q^{II}, \quad (1)$$

где x_v^I - искомая переменная в виде объема реализованной продукции вида v ; $c_v(t)$ - цена реализации продукции вида v ; $c_q(t)$ - закупочная цена на сельскохозяйственную продукцию, подлежащую переработке; x_q^{II} - искомая переменная, соответствующая объему q -вида продукции, подлежащей переработке; V и Q – множества видов конечной продукции, подлежащей переработке, t - параметр, изменяющийся в интервале $[\alpha, \beta]$.

Второй критерий оптимальности – максимум прибыли от реализации продукции сельскохозяйственными товаропроизводителями, описывается выражением:

$$f_2 = \sum_{j \in J} c_j(t)x_j^{III} - \sum_{i \in I} c'_i(t)x_i^{IV}, \quad (2)$$

где $c_j(t)$ – выручка от реализации продукции j -вида, получаемой сельскохозяйственными товаропроизводителями; $c'_i(t)$ – затраты на одну голову животных i -вида, x_i^{IV} - поголовье животных вида i ; x_j^{III} – объем производства продукции j -вида. При этом нужно учитывать следующие условия. Развитие отраслей ограничивается имеющимися и выделяемыми производственными ресурсами (посевные площади, численность поголовья животных и т.п.):

$$\sum_{j \in J} a_{ij}(t)x_j^{III} \leq A_i \quad (i \in I), \quad (3)$$

где i - вид производственных ресурсов; j - вид сельскохозяйственной продукции; $a_{ij}(t)$ - норма затрат ресурсов i -вида на единицу j -продукции; A_i - объем ресурсов i -вида, I - множество видов производственных ресурсов; J - множество видов сельскохозяйственной продукции.

Объемы отраслей и видов деятельности предприятия должны быть взаимосвязаны и сбалансированы:

$$\sum_{j \in J} a_{ij}(t)x_j''' \geq \sum_{j \in J} b_{ij}(t)x_j''' \quad (i \in I), \quad (4)$$

где $b_{ij}(t)$ – содержание i -вида ресурса в единице j -вида продукции.

При этом искомые переменные должны быть неотрицательными:

$$x_v^I, x_q^{II}, x_j^{III}, x_i^{IV} \geq 0. \quad (5)$$

Приведенная задача является однопараметрической с параметром t . Во многих случаях урожайность сельскохозяйственных культур и поголовье сельскохозяйственных животных зависит от параметра t , который характеризует время.

Из этой общей задачи многокритериального параметрического программирования, в которой рассматривается производство и переработка молочной продукции, можно выделить разные варианты. Во-первых, переработка может быть не связана с параметром, тогда характеристики этой отрасли, входящие в целевую функцию, не зависят от t . Во-вторых, деятельность товаропроизводителей может не быть связанной с параметром в отличие от переработчиков. В-третьих, существуют разные варианты зависимости характеристик ограничений от параметра t .

Для решения многокритериальной задачи оптимизации функционирования перерабатывающего предприятия можно использовать метод последовательных уступок, который включает следующие этапы.

1. Нумеруются критерии в порядке убывания их важности f_1, f_2, \dots, f_n .
2. Определяется значение первого критерия $f = \max f_1$ исходя из ограничений (3) - (5).
3. Экспертами устанавливается величина уступки δ для первого критерия.
4. Решается задача по второму критерию с учетом уступки и ограничений (3) -(5):

$$f_2 \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$f_1 \geq f_1 - \delta. \quad (7)$$

Двухкритериальная модель оптимизации производства и переработки молока реализована на примере Усольского района Иркутской области. Результаты решения задачи по первому и второму критериям оптимальности приведены в таблице.

При решении прикладной задачи величина уступки принята 0,21. Она получена опытным путем на основании решения различных задач, учитывающих эффективность работы товаропроизводителей и перерабатывающих предприятий.

Для моделирования производства и переработки молочной продукции использована многокритериальная задача параметрического программирования, в которой поголовье коров зависит от параметра t (рисунок).

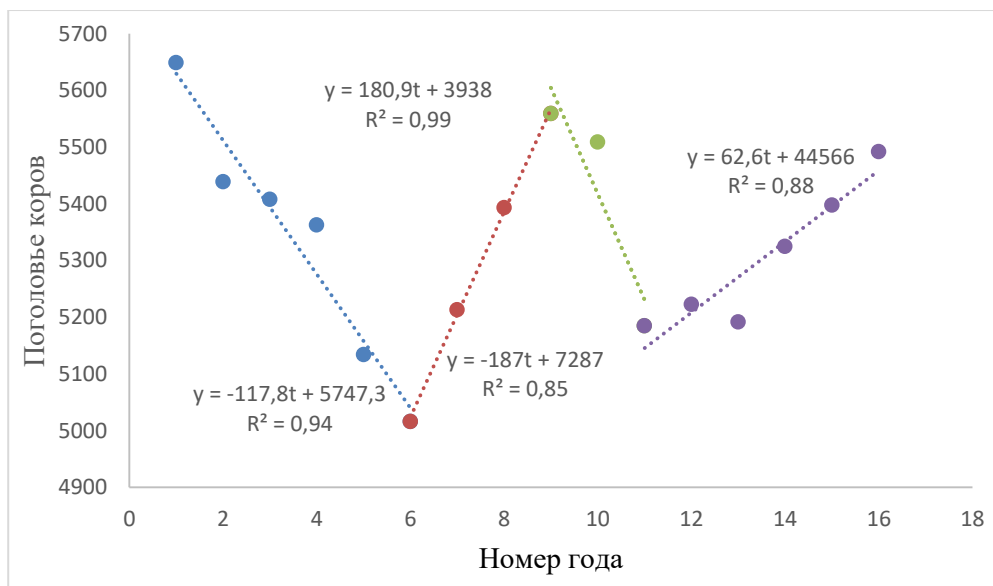


Рисунок 1 – Трендовые линейные модели динамики поголовья коров в Усольском районе по данным 2007 - 2022 гг.

Динамику поголовья коров в Усольском районе за 2017-2022 гг. можно описать трендовой моделью вида

$$y = 62,7t + 4457$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,88$, значимостью выражения 0,0054 и значимостью t -статистики Стьюдента - 5,5.

Задача решена с помощью линейной и параметрической многокритериальной оптимизации (таблица). При реализации линейной модели без учета параметра по первому критерию – максимум прибыли перерабатывающего предприятия составит 370 млн руб., а выручка товаропроизводителей – около 1150 млн руб. Решение задачи по второму критерию при условии, что отклонение первого от оптимального значения не превзойдет величины уступки 0,21, показало, что сельскохозяйственные товаропроизводители получают максимальную выгоду в размере 1226 млн руб., что на 6,7% больше, чем в первом случае.

При использовании модели параметрического программирования с учетом точечный прогноза поголовья коров 5522 в 2023 году предполагается увеличение производства и реализации молока на 2,1 %. Выручка товаропроизводителей возрастет и составит 1252 млн руб. При этом прибыль перерабатывающих предприятий не изменится.

Таблица - Результаты решения многокритериальной задачи

Характеристика	Размерность	Решение задачи по первому критерию	Решение задачи по второму критерию	Прогнозные значения показателей с упреждением 1 год (2023)
Поголовье коров	гол.	5493	5493	5522
Объем реализации молока	т	25544	25544	26080
Прибыль перерабатывающих предприятий	тыс. руб.	370384	293753	293753
Выручка товаропроизводителей от реализации молока на переработку	тыс. руб.	1149467	1226099	1251861

Выводы. Предложена многокритериальная однопараметрическая модель с разными вариантами для решения задач оптимизации взаимодействия перерабатывающих предприятий и производителей сельскохозяйственной продукции. В качестве параметра использовано время.

Модель реализована для оптимизации производителей и переработчиков молока по данным Усольского района Иркутской области с использованием метода последовательных уступок.

В предложенном варианте модель параметрического программирования позволяет получать оптимальные решения для планирования совместной деятельности перерабатывающих и производственных предприятий с упреждением 1 – 2 шага. Последующие исследования предполагают детализацию ограничений и рассмотрение других вариантов многокритериальной параметрической модели, в том числе многопараметрической.

Список литературы

1. Баландин Д.В. Многокритериальные минимаксные задачи: локализация множества Парето и синтез субоптимальных управлений /Д.В., /Баландин, Р.С. Бирюков, М.М. Коган //Автоматика и телемеханика. 2021. № 8. С. 39-59.
2. Бекмуратов Т.Ф. Нечетко-множественные задачи многокритериальной оптимизации в условиях риска / Т.Ф. Бекмуратов, Д.Т. Мухамедиева //Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2019. № 1 (19). С. 6-23.
3. Белоконская Е.Г. Комплексная оценка уровня жизни как многокритериальная задача / Е.Г. Белоконская Е.Г., М.Б. Ермолаев, Н.А. Лебедев //Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2019. № 4 (42). С. 115-123.
4. Бузина, Т.С. Многокритериальная задача оптимизации взаимодействия участников агропромышленных кластеров с интервальными параметрами / Т.С. Бузина, Я.М. Иваньо, Н.И. Федурин. - Научно-практический журнал "Вестник ИрГСХА".- 2015.- Вып.71.– С.115-123.
5. Бузина Т.С. Оптимизация взаимодействия участников кластера по получению пищевой дикорастущей продукции в регионе / Т.С. Бузина, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. – Лесной вестник / Forestry Bulletin. - 2020. - Т. 24. - № 4. – С. 138 -149.
6. Бузина, Т. С. Опыт применения многокритериальных экстремальных задач для оптимизации получения продовольственной продукции / Т. С. Бузина, Я. М. Иваньо //

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. 188-199.

7. Воробович, Н. П. Применение теории оптимального управления для решения многокритериальной задачи сетевого планирования с нечеткими ограничениями по ресурсам / Н. П. Воробович // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 8(35). – С. 15-18. – EDN KWQBNR.

8. Зоркальцев В.И. Многокритериальные задачи оптимизации и алгоритмы поиска Парето-оптимальных решений /В.И. Зоркальцев // Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”. - 2023. - Вып. 46. - С. 45 - 52.

9. Иваньо, Я. М. Модели с детерминированными и неопределенными параметрами применительно к оптимизации сельскохозяйственных процессов / Я. М. Иваньо, М. Н. Барсукова // . – 2007. – № 6. – С. 156-160.

10. Модели параметрического программирования, применяемые в аграрном производстве /Иваньо Я.М. [и др.]. //Актуальные вопросы аграрной науки. 2022. № 43. С. 50-60.

11. Кондратьев, В. Д. Модель задачи параметрического программирования с двумя параметрами и ее приложения / В. Д. Кондратьев, А. В. Соловьев // Экономика и менеджмент систем управления. – 2014. – № 3-3(13). – С. 324-332. – EDN SYTQKH.

12. Куимова Е. И. Многокритериальные задачи оптимизации /Е.И. Куимова, Д.А. Рябов // Вестник КГУ. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика - 2019. - С. 214 - 216.

13. Маркина М.В. Многокритериальные задачи оптимизации в экономике М.В. Маркина / //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2014. - № 4 (1). С. 416–421

14. Новикова Н.М. Метод сверток в многокритериальных задачах с неопределенностью /Новикова Н.М., Поспелова И.И., Зенюков А.И. //Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2017. № 5. С. 27-45.

15. Рапопорт, Э. Я. Многокритериальное управление системами с распределёнными параметрами в условиях интервальной неопределённости характеристик объекта / Э. Я. Рапопорт, Ю. Э. Плешивцева // Автометрия. – 2019. – Т. 55. № 4. – С. 3-18. – DOI 10.15372/AUT20190401.

16. Хачатуров Р.В. Обобщенный метод множества эквивалентности для решения задач многокритериальной оптимизации / Р.В. Хачатуров //Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2020. № 1. С. 109-118.

17. Belyakova A. Yu. Method of statistical tests in solving problems of food production management / A. Yu. Belyakova, T.S. Buzina, Ya.M. Ivanyo //IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis link is disabled, 2021, 839(3).

Сведения об авторах

Белякова Анна Юрьевна - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математического моделирования института экономики управления. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, 1, тел. 89025194188, email: btlyakova_irk@mail.ru).

Бузина Татьяна Сергеевна - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математического моделирования института экономики управления. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, 1, тел. 89021737301, email: buzinats@mail.ru).

Иваньо Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования института экономики, управления и прикладной информатики. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237491, e-mail: iasa_econ@rambler.ru).

УДК 378.147: 371.314.6

ПРОЕКТНОЕ ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ «ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА» В АГРАРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Барсукова М.Н., Бендик Н.В., Иваньо Я.М.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,
п. Молодежный, Иркутский район, Россия

Работа посвящена использованию методов проектного обучения при подготовке студентов направления 09.03.03 и 09.04.03 «Прикладная информатика» в Иркутском государственном аграрном университете. Проанализированы универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции направления «Прикладная информатика». Выделено одно из наиболее эффективных методов обучения студентов – проектное, которое мотивирует работу учащегося на протяжении всего периода получения им образования в вузе. Метод проектного обучения связывает студента с решением различных задач экономического развития региона и страны. При этом студент участвует в реализации некоторого аспекта проекта совместно с другими учащимися. Проектное обучение предполагает выбор студентом на начальных курсах некоторого направления деятельности в рамках большого проекта, реализацией которого, в конечном итоге, является выпускная квалификационная работа. Таким образом, все изучаемые студентом дисциплины должны быть прямо или косвенно связаны с конечной целью. В дополнение для учащегося создаются условия для расширения своих знаний благодаря работе студенческого научного кружка при кафедре информатики и математического моделирования, привлечению дополнительно квалифицированных консультантов при необходимости из других кафедр, факультетов и институтов университета. Кроме этого, проектная деятельность эффективно реализуется при участии студента в профильных олимпиадах, хакатонах и конкурсах регионального, всероссийского и международного уровней. В университете созданы все условия для реализации студентом своих потенциальных возможностей и его подготовки для производственной, проектной, педагогической и научной деятельности.

Ключевые слова: проектное обучение, высшее образование, прикладная информатика, компетенции.

PROJECT TRAINING FOR STUDENTS OF THE DIRECTION "APPLIED INFORMATICS" IN AGRARIAN UNIVERSITY

Barsukova M.N., Bendik N.V., Ivan' o Ya.M.

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Russia

The work is devoted to the use of project-based learning methods in the preparation of students of the direction 09.03.03 and 09.04.03 "Applied Informatics" at the Irkutsk State Agricultural University. The universal, general professional and professional competencies of the direction "Applied Informatics" are analyzed. One of the most effective methods of teaching students is singled out - project-based, which motivates the work of the student throughout the entire period of his education at the university. The project-based learning method connects the student with the solution of various problems of the economic development of the region and the country. In this case, the student participates in the implementation of some aspect of the project together with other students. Project-based learning involves the choice by the student in the initial courses of some direction of activity within the framework of a large project, the implementation of which, in the end, is the final qualifying work. Thus, all disciplines studied by the student must be directly or indirectly related to the ultimate goal. In addition, conditions are created for the student to expand their knowledge thanks to the work of the student scientific circle at the Department of Informatics and

Mathematical Modeling. Additional qualified consultants can be involved, if necessary, from other departments, faculties and institutes of the university. In continuation of this, project activities are effectively implemented with the participation of a student in specialized olympiads, hackathons and competitions at the regional, Russian and international levels. The university has created all the conditions for the student to realize his potential and prepare him for production, design, pedagogical and scientific activities.

Key words: project-based learning, higher education, applied informatics, competencies.

Введение. Ввиду развития цифровых технологий, расширения доступности к информации, жесткой конкурентоспособности между вузами в рамках региона, страны и мира изменяются требования к подготовке кадров для экономики. В современную эпоху надо решать задачу не только актуального и качественного обучения, но и продумывать и применять технологии заинтересованности студента в процессе обучения.

Одним из методов обучения студентов является проектный метод, суть которого заключается в погружении студента в разработку реального проекта, связанного с решением проблемы в той или иной области экономики. Большие проекты требуют участия коллектива студентов. Поэтому при проектном обучении реализуются навыки индивидуальной и коллективной работы.

При таком методе обучения помимо проектных навыков у студента развивается способность к исследовательской деятельности, становление нового технологического мышления, получение опыта созидательной работы и решение конкретных задач. Помимо этого, определяется часть студентов с организаторскими и управленческими способностями.

С учетом повсеместного внедрения проектов по цифровой трансформации [5, 6] проектно-исследовательская деятельность студентов становится важной частью теоретической и практической подготовки с определением четкой мотивации.

Целью данного исследования является описание возможности проектного обучения для развития профессионально важных способностей студентов направления «Прикладная информатика» аграрного вуза.

Материалы и методы. В качестве основных методов исследования в данной работе рассмотрены методы проектно-ориентированного обучения, которые опираются на приемы и способы получения эффективных результатов [12]. Кроме этого, проектная деятельность предполагает использование метапредметного подхода, освоение которого позволяет студенту вникать в поставленную проблему и решать ее обобщенным способом работы, используя разные методы, модели и понятия.

В работе использованы законодательные документы по развитию экономики и сельского хозяйства в стране [2, 3, 4 и др.]. Нормативно-правовое обеспечение работы определено Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» [1], а также Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика» (бакалавриат) [7].

Проанализирован опыт проектного обучения в других учебных заведениях страны [8, 9].

Основные результаты. Образовательный процесс определен целями образования и взаимодействием основных компонентов: содержания, методов, форм организации, средств и контроля организации. Для эффективного формирования профессиональной компетентности студентов важнейшим условием является проектирование образовательного процесса, в котором организационные формы и методы образовательного процесса, содержание совпадают с целью воспитания и обучения. Указанные компоненты процесса образования являются основой для создания педагогических условий, которые в будущем могут обеспечить становление компетентного специалиста.

Проектное обучение - это метод обучения, при котором студенты учатся, участвуя в реальных и значимых проектах. Обучающиеся работают над проектом в течение длительного периода времени, отвечая на интересные и сложные вопросы или решая реальные проблемы с помощью исследования и критического мышления.

Начало проектного обучения формируется на начальных курсах обучения. Студент выбирает наиболее интересную тему для себя в рамках тематик кафедры информатики и математического моделирования, которые связаны с реальными проектами по образовательной деятельности, цифровой трансформации сельского хозяйства региона, научным разработкам. Собственные идеи студента учитываются для формирования новых проектов или включения в существующий список.

Таким образом, студент определяет для себя тему, которая связана с его выпускной квалификационной работой на уровне бакалавриата и магистратуры. Такой выбор является наилучшей мотивацией для творческой деятельности.

Исходя из выбранной темы изучение разных дисциплин, участие в конкурсах, кружках, олимпиадах, прохождение учебных и производственных практик подчинено решению задач проекта, достижению поставленной цели.

Проектное обучение требует большого перечня проектов, многолетнего сотрудничества вуза с производственными, проектными, образовательными учреждениями, научно-исследовательскими институтами, различными региональными министерствами.

Поскольку университет сотрудничает с большим количеством организаций тематика кафедры и регионального центра прогнозирования развития агропромышленного комплекса, созданного при кафедре, постоянно актуализируется [14].

Региональный центр прогнозирования развития агропромышленного комплекса является площадкой для развития и реализации проектной деятельности студентов. К основным функциям центра относятся:

- моделирование сельскохозяйственного производства в условиях экстремальных природных и техногенных ситуаций;
- построение моделей по оптимизации структуры производства отраслей и их сочетаний;
- построение моделей оптимизации с учетом экстремальных природных явлений;

- прогнозирование эрозионных процессов с использованием ГИС-технологий;
- прогнозирование и оценка урожайности сельскохозяйственных культур, дат посевов и лесных ресурсов;
- разработка сценариев развития сельскохозяйственных процессов в агропромышленном комплексе;
- моделирование устойчивого развития сельскохозяйственных территорий на основе многолетней информации;
- районирование территорий по производственному потенциалу с учетом агроклиматических особенностей и др.

Студенты направления 09.03.03 «Прикладная информатика» проходят производственную практику и активно участвуют в проектах реализуемых региональным центром.

Очевидно, что любая технология обучения связана с получением студентом компетенций согласно федеральным государственным образовательным стандартам. В перечень профессиональных стандартов, соответствующих профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, включен Профессиональный стандарт 06.016 «Руководитель проектов в области информационных технологий».

Профессиональная компетентность представляется как совокупность освоенных общепрофессиональных, профессиональных и универсальных компетенций, позволяющих эффективно осуществлять профессиональную деятельность. Для определения профессионально важных качеств специалиста по информационным системам рассмотрим состав компетенций исследуемого направления подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика». Компетенции бакалавра представлены тремя группами: универсальные (УК), общепрофессиональные (ОПК) и профессиональные (ПК).

Анализируя ФГОС ВО (3++) по направлению бакалавриата «Прикладная информатика» [7] выявлено 8 компетенций, для формирования которых целесообразно использовать проектное обучение (таблица).

Данный метод обучения ориентирован на студентов и включает в себя работу с реальными объектами и практикой. Цель проекта заключается в том, чтобы узнать как можно больше о предметной области. При проектном обучении студенты сотрудничают с однокурсниками в течение определенного периода времени для того, чтобы найти решение проблем, и по окончании проекта представляют свою работу независимым экспертам. Конечным результатом проекта может быть программный комплекс, информационная система, информационная или математическая модель, база данных, база знаний, мобильное приложение и др. При этом проектное обучение является важной частью воспитания студентов [11].

Таблица - Компетенции направления «Прикладная информатика»

Код компетенции	Наименование компетенции выпускника
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде.
ОПК-8	Способен принимать участие в управлении проектами создания информационных систем на стадиях жизненного цикла.
ОПК-9	Способен принимать участие в реализации профессиональных коммуникаций с заинтересованными участниками проектной деятельности и в рамках проектных групп.
ПК-3	Способность проектировать ИС по видам обеспечения
ПК-4	Способность составлять технико-экономическое обоснование проектных решений и техническое задание на разработку информационной системы.
ПК-6	Способность принимать участие во внедрении информационных систем.

Обязательным является использование метода проектного обучения в дисциплинах: проектирование информационных систем (в том числе выполнение и защита курсового проекта); проектный практикум; управление разработкой информационных систем; выполнение и защита выпускных квалификационных работ.

При осуществлении образовательной деятельности в ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ используются различные передовые образовательные технологии, в т.ч. с использованием современной компьютерной техники и программного обеспечения, что способствует развитию проектной деятельности.

Большое внимание уделяется созданию комфортных условий для прохождения учебно-производственных практик по изучению, проектированию и внедрению передовых технологий на базе учебных научно-производственных участков «Молодежное» и «Оекское» (мониторинг данных и их обработка) и учебной фермы (проектирование и внедрение цифровых технологий в животноводство).

На базе выпускающей кафедры информатики и математического моделирования работает студенческий научный кружок.

Работа кружка направлена на углубленное изучение студентами программирования, 3D-моделирования и печати, робототехники, а также использование полученных знаний при реализации проектов. Работа в кружке помогает студентам раскрывать свой потенциал, достигать успехов в учебной и научной деятельности.

Помимо этого, проектная деятельность эффективно реализуется в рамках участия в различных профильных олимпиадах, хакатонах и конкурсах регионального, всероссийского и международного уровней и завоевывают

призовые места. Ежегодно обучающиеся принимают участие во Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства России.

Проектное обучение способствует раскрытию исследовательских возможностей студентов, что позволяет осуществлять отбор учащихся для последующей работы в аспирантуре, пополняя научную школу кафедры информатики и математического моделирования [13].

Становлению профессионально важных компетенций студентов направления 09.03.03 и 09.04.03 «Прикладная информатика» способствует проводимые кафедрой информатики и математического моделирования олимпиады по прикладной информатике.

Одним из примеров проектного обучения является реализация проекта по внедрению различных модулей системы «1С: Университет ПРОФ» в образовательный и научный процесс. При этом здесь студенты работают в коллективе под руководством преподавателей, решая совместно поставленные задачи.

Подготовка и защита выпускных квалификационных работ как результат проектной деятельности выполняется в рамках приоритетных научных направлений кафедры информатики и математического моделирования и реализации Федеральной инновационной площадки «Региональная инновационная площадка подготовки кадров высшего образования (бакалавриат, магистратура, аспирантура) для цифровой трансформации сельского хозяйства Иркутской области» [10].

Проектную деятельность студенты могут продолжить, осуществив переход на новые ступени обучения – магистратуру и аспирантуру.

Выводы. Описаны возможности проектного обучения для студентов направления подготовки «Прикладная информатик». Приведена краткая схема технологии проектного обучения. Рассмотрены примеры вовлечения студентов в проектное обучение.

Исследование выполнено на базе федеральной инновационной площадки Иркутского аграрного университета имени А.А. Ежовского, составляющей инновационную инфраструктуру в сфере высшего образования и соответствующего дополнительного профессионального образования (приказ Минобрнауки России — Об утверждении перечня организаций от 25.12.2020 № 1580).

Список литературы

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
2. Федеральный закон от 25 июля 2011 г. № 260-ФЗ (ред. от 01.05.2019) «О государственной поддержке в сфере сельскохозяйственного страхования и о внесении изменений в Федеральный закон «О развитии сельского хозяйства».
3. Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. №899 «Перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации».
4. Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2016 г. № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства».
5. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 года №1632-Р)

6. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 48 с.
7. Федеральный государственный образовательный стандарт по направлению подготовки (специальности) 09.03.03 «Прикладная информатика» и уровню высшего образования Бакалавриат, утвержденный приказом Минобрнауки России от 19.09.2017 № 922 (далее – ФГОС ВО).
8. Андронова Т. А. Активные и интерактивные формы проведения занятий для бакалавров и магистров / Т. А. Андронова, О. А. Тарасенко // Юридическое образование и наука. – 2013. – № 2. – С. 33–37.
9. Ахапкина Е. Н. К проблеме развития аграрного образования в России / Е. Н. Ахапкина, Л. А. Крохмаль // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). — 2015. – № 2–1 (22). – С. 129–136.
10. Барсукова М.Н. Направления и реализация деятельности федеральной инновационной площадки в Иркутском ГАУ /М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо //В сборнике: Развитие агропромышленного комплекса в условиях становления цифровой экономики в России и за рубежом.//Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения Почетного работника высшего профессионального образования РФ, доктора экономических наук Винокурова Геннадия Михайловича. - п. Молодежный, 2021. – С. 31-38.
11. Бендик Н. В. Работа кураторов как условие эффективности воспитательной деятельности аграрного вуза / Н. В. Бендик // Учебная самостоятельность личности – основа образования через всю жизнь : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 23–31 марта 2020 г. // ФГБОУ ВО «ИГУ» ; [под ред. М. Г. Голубчиковой, С. А. Харченко]. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2020.– Иркутск. – С. 17 – 21.
12. Борытко Н. М. Современные требования к профессиональной подготовке будущего специалиста аграрного сектора как основание для применения компетентностного подхода в образовании / Н. М. Борытко, Ширяева К. А // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. № 9(94). – 2014. – С. 90–95.
13. Иваньо Я.М О развитии научной школы "Экономико-математическое моделирование сельскохозяйственного производства в условиях неполной информации" /Я.М. Иваньо, Н.И. Федурин //В сборнике: Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти А.А. Ежевского. - п. Молодежный, 2022. - С. 200-211.
14. Федурин Н.И., Подготовка кадров по прикладной информатике для решения задач развития агропромышленного комплекса региона /Я.М. Иваньо, Н.И. Федурин //В сборнике: Развитие агропромышленного комплекса в условиях становления цифровой экономики в России и за рубежом. Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения Почетного работника высшего профессионального образования РФ, доктора экономических наук Винокурова Геннадия Михайловича. - п. Молодежный, 2021. - С. 239-246.

Сведения об авторах

Иваньо Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 83952237491; e-mail: iasa_econ@rambler.ru).

Барсукова Маргарита Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский р-он, пос Молодежный, Иркутский ГАУ тел +7 (3952) 237 330, e-mail: margarita1982@bk.ru).

Бендик Надежда Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, e-mail starkovan@list.ru).

О НЕКОТОРЫХ МЕЖОТРАСЛЕВЫХ ЗАДАЧАХ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Иваньо Я.М., Полковская М.Н., Федурин Н.И.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В условиях взаимодействия производителей различных видов продукции приходится моделировать функционирование сложных систем, для чего используются данные разных отраслей экономики. Среди математических моделей, описывающих работу отраслей, можно выделить модели оптимизации сочетания производства растениеводческой и животноводческой продукции; модели оптимизации производства и переработки продукции; модели оптимизации аграрного производства и заготовки дикорастущих ресурсов; модели оптимизации взаимодействия участников водохозяйственного комплекса и другие. При решении подобных задач требуются не только производственно-экономические данные, но и значения природно-климатических и экологических характеристик.

В работе проанализированы некоторые межотраслевые экстремальные задачи. Первая из них связана с оптимизацией сочетания отраслей растениеводства и животноводства в условиях влияния на производство экстремальных климатических, экологических и техногенных событий. Вторая модель описывает оптимизацию сочетания производства продукции растениеводства и животноводства, а также заготовки мяса диких животных и пищевых дикорастущих ресурсов. Из общей модели можно получить частные случаи. Характеристики модели могут быть детерминированными, стохастическими или быть зависимыми от некоторых параметров. Третья многокритериальная модель связана с планированием использования водных ресурсов с учетом экономико-экологических показателей. Она включает в себя водопользователей и водопотребителей, которые имеют собственные цели и вместе с тем связаны между собой. Описанные модели применимы для управления сложными системами.

Ключевые слова: межотраслевые задачи, сочетание отраслей, сельское хозяйство, заготовка лесных ресурсов, водохозяйственная система, планирование.

ON SOME INTERSECTORAL TASKS OF REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT

Ivanyo Ya.M., Polkovskaya M.N., Fedurina N.I.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

In the conditions of interaction between manufacturers of various types of products, it is necessary to simulate the functioning of complex systems, for which data from different sectors of the economy are used. Among the mathematical models describing the work of industries, one can distinguish models for optimizing the combination of crop and livestock production; models for optimizing production and processing of products; models for optimizing agricultural production and harvesting wild resources; models for optimizing the interaction of participants in the water management complex and others. When solving such problems, not only production and economic data are required, but also the values of natural, climatic and environmental characteristics.

The paper analyzes some intersectoral extreme problems. The first of them is related to the optimization of the combination of crop and animal husbandry industries under the influence of extreme climatic, environmental and man-made events on production. The second model describes the optimization of the combination of crop production and animal husbandry, as well as the

harvesting of wild animal meat and food wild resources. Special cases can be obtained from the general model. The characteristics of the model can be deterministic, stochastic, or dependent on some parameters. The third multi-criteria model is related to planning the use of water resources taking into account economic and environmental indicators. It includes water users and water consumers who have their own goals and at the same time are interconnected. The described models are applicable for managing complex systems.

Keywords: intersectoral tasks, combination of industries, agriculture, harvesting of forest resources, water management system, planning.

Введение. Математические модели нашли широкое применение в различных отраслях экономики: энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, переработке и др. При этом для решения задач прогнозирования и планирования производства интенсивно внедряются информационные технологии.

В условиях цифровой трансформации экономики решаются задачи сбора, хранения и обработки информации различного вида, поступающей с датчиков, метеорологических станций, дронов, спутников, внешних систем, партнерских платформ и др. Помимо этого, дополнительно используются экспертные оценки. Для хранения и обработки поступающих данных актуальным является использование технологий, связанных с большими объемами данных (Big Data) [14, 17].

В современных условиях очень часто приходится моделировать функционирование сложных систем, для чего используются данные разных отраслей экономики. Широкое распространение нашли модели оптимизации по сочетанию: растениеводства и животноводства; производства и переработки продукции; аграрного производства и заготовки дикорастущих ресурсов, деятельности участников водохозяйственного комплекса и других отраслей. Для их реализации требуются разнообразные данные, которые помимо производственно-экономических сведений работы разных отраслей включают в себя природно-климатические и экологические характеристики.

Целью работы является описание математических моделей для решения некоторых межотраслевых задач, связанных с развитием региональной экономики. В соответствии с целью решены следующие задачи: выделение некоторых межотраслевых задач и их описание с помощью математических моделей.

Материалы и методы. В качестве материалов использованы научные статьи, в которых освещены исследования, касающиеся моделирования сочетания отраслей с учетом рисков [2, 3, 5-7, 15], производства сельскохозяйственной продукции и заготовки лесной продукции [1, 16], а также моделирования взаимодействия участников водохозяйственного комплекса [6, 8, 9].

Для решения оптимизационных задач применялись методы математического программирования. Для вероятностной оценки случайных величин, входящих в модель, использованы методы теории вероятностей. Прогнозирование различных параметров осуществлялось с помощью метода наименьших квадратов и регрессионного анализа.

Результаты и обсуждение. В рамках приведенного исследования выделены межотраслевые экстремальные задачи, включающие отрасли: сельское хозяйство, заготовку лесных ресурсов и энергетику. При этом при решении задач оптимизации получения продовольственной продукции можно учитывать влияние производства на окружающую среду, а также воздействие на деятельность предприятий АПК природно-климатических условий.

Рассмотрим первую задачу – оптимизацию сочетания отраслей с учетом экстремальных климатических и техногенных событий, приведенную в работе [5].

Критерий оптимальности в виде дохода модели сочетания отраслей имеет вид

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{is} x_{is} + \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} d_{jh} x_{jh} - \sum_{r \in R} \sum_{k \in K} u_{rk}^p x_k \rightarrow \max, \quad (1)$$

где d_{is} – стоимость i -й продукции s -культуры; d_{jh} – стоимость j -й продукции h -вида животного; x_{is} , – объем производства i -й продукции s -культуры; x_{jh} – объем производства j -й продукции животноводства h -вида; u_{rk}^p – ущерб, причиненный событием r производству k продукции, I, J – множества видов продукции растениеводства и животноводства; R – множество экстремальных событий.

При этом в модели приняты ограничения:

по распределению производственных ресурсов:

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} b_{is}^p x_{is} + \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} b_{jh}^p x_{jh} \leq B, \quad (2)$$

где b_{is}^p – расход ресурса на единицу продукции i культуры s ; b_{jh}^p – расход ресурса на единицу продукции j животноводства h -вида; B – ограничения по использованию ресурсов; p – вероятность;

по применению в животноводстве побочной продукции растениеводства для обеспечения кормами животных:

$$\sum_{n \in N} \sum_{s \in S} v_{nsr}^p x_{ns} \geq \Psi_r, \quad (3)$$

где v_{nsr}^p – выход n -вида корма с единицы площади s -культуры, зависящий от влияния события r ; Ψ_r – необходимый объем обеспечения кормами;

по размеру отрасли растениеводства:

$$\underline{n} \leq \sum_{s \in S} (1 + \eta_s) x_s \leq \bar{n}; \quad (4)$$

где \underline{n} (\bar{n}) – минимальная (максимальная) площадь s -культур; η_s - коэффициент, учитывающий площадь посевов семян s -культур;

по размеру отрасли животноводства:

$$x_h = \lambda_{hh'} x_{h'} \quad (h, h' \in H), \quad (5)$$

где $\lambda_{hh'}$ - коэффициент пропорциональности между поголовьем животных h и их группами h' ; h' - группы животных;

по производству конечной продукции отрасли растениеводства:

$$\sum_{s \in S} w_{q_1 s}^p x_s \geq W_{q_1} \quad (q_1 \in Q_1); \quad (6)$$

животноводства:

$$\sum_{h \in H} w_{q_2 h} x_h \geq W_{q_2} \quad (q_2 \in Q_2), \quad (7)$$

где $w_{q_1 s}^p$ и $w_{q_2 h}$ – выход продукции растениеводства s -культуры и животноводства h -вида, ц; W_{q_1} и W_{q_2} – заданный объем производства продукции растениеводства и животноводства, ц; q_1 и q_2 – вид товарной продукции; Q_1 и Q_2 – множества товарной продукции, p – вероятность;

по балансу рационов животных по элементам питания:

$$\sum_{s \in S} a_{ms} l_s x_s + \sum_{n \in N} a_{nm} x_n \geq \sum_{h \in H} \beta_{mh} x_h \quad (i \in I), \quad (8)$$

где a_{ms} – содержание элемента питания m в единице кормовой продукции, получаемое от культуры s ; l_s – выход основной кормовой продукции от культуры s ; a_{mn} – содержание элемента m питания в виде корма n или компоненте кормосмеси; x_n – объем производства кормов вида n ; β_{mh} – минимальная потребность в элементе питания m единицы поголовья вида (группы) h ;

по структуре производства кормов:

$$\sum_{h \in H} \underline{\varphi}_{kh} \leq \sum_{s \in S} a_{ms} l_s x_s + \sum_{j \in J} a_{imn} x_n \leq \sum_{h \in H} \overline{\varphi}_{mh} x_h \quad (k \in K), \quad (9)$$

где $\underline{\varphi}_{kh}, \overline{\varphi}_{kh}$ – минимально и максимально допустимый нормативный размер потребности в кормах группы k единицы поголовья вида (группы) животных h , выраженный в кормовых единицах.

по неотрицательности переменных:

$$x_{is}, x_{jh}, x_k, x_{ns} \geq 0. \quad (10)$$

Модель (1) - (10) применяется в случаях, когда на аграрное производство влияют множество различных событий как климатических, так и техногенных. В частном случае может решаться задача, в которой учитывается влияние одного экстремального события.

В работе [5] приведены результаты решения задачи оптимального сочетания отраслей для высокого весеннего половодья на примере ООО «Талинка» Тайшетского района. При этом повторяемость рассматриваемого гидрологического события соответствует 1 разу в 30-70 лет. Помимо этого, задача реализована для одного из подразделений СХ ОАО «Белореченское» в Черемховском районе, расположенного в с. Зерновое, в условиях проявления сочетания двух событий (засухи и техногенного события). Результаты решения задачи показали, что в наихудшем случае выручка от произведенной продукции уменьшится на 23,3%, а в наилучшем – на 20,4%.

Приведенная модель (1) – (10) может быть модифицирована на основе преобразования целевой функции:

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} (1 - l_s) d_{is} x_{is} + \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} (1 - \alpha_h) d_{jh} x_{jh} - \sum_{r \in R} \sum_{k \in K} (1 - l_k) u_{rk}^p x_k \rightarrow \max,$$

в которой дополнительно учитываются потери продукции в результате загрязнения почвы и водных ресурсов. Здесь l_s и α_h – эмпирические коэффициенты негативного влияния техногенных и природных процессов (эрозия почвы) на производство растениеводческой и животноводческой продукции. При этом l_k – коэффициент негативного влияния техногенных и природных процессов на территориях, подверженных влиянию экстремальных событий. Подобная целевая функция использована в работе [7]. В этом случае критерий оптимальности характеризует максимум доходов с учетом экологических факторов и влияния экстремальных событий. Задача усложняется за счет поиска коэффициентов негативного влияния и необходимости введения дополнительных ограничений по минимизации ущербов окружающей среде.

Рассмотрим вторую модель, описывающую оптимизацию сочетания получения продовольственной продукции с учетом заготовки мяса диких животных и дикорастущих растений с усредненными коэффициентами при неизвестных и правыми частями ограничений можно записать в следующем виде. Она основана на разработках, описанных в работах [1, 11]. Критерий оптимизации в задаче имеет вид доходов:

$$\sum_{s \in S} c_s \chi_s + \sum_{j \in J} c_j \chi_j + \sum_{n \in N} c_n \chi_n + \sum_{m \in N} c_m \chi_m \rightarrow \max. \quad (11)$$

Условие по ограниченности всех сельскохозяйственных земель и лесных продуктивных территорий выглядит так:

$$\sum_{s \in S} g_s \chi_s + \sum_{j \in J} p_j \chi_j \leq B ; \quad (12)$$

$$\sum_{n \in N} r_n \chi_n + \sum_{m \in N} h_m \chi_m \leq H ; \quad (13)$$

при условиях:

ограниченности размера отрасли растениеводства:

$$\underline{n} \leq \sum_{s \in S} (1 + \eta_s) \chi_s \leq \bar{n} ; \quad (14)$$

по производству и использованию кормов

$$\sum_{s \in S} a_{q_2s} \chi_s \geq A_{q_2} ; \quad (15)$$

ограниченности производственно-экономических ресурсов

$$\sum_{s \in S} l_{q_1 s} \chi_s + \sum_{j \in J} l_{q_2 j} \chi_j + \sum_{n \in N} l_{q_3 n} \chi_n + \sum_{m \in M} l_{q_4 m} \chi_m \leq L_q; (q_1 \in Q_1, q_2 \in Q_2, q_3 \in Q_3, q_4 \in Q_4, q \in Q,$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \quad (16)$$

производства конечной продукции не менее заданного объема, в том числе:

а) растениеводства

$$\sum_{s \in S} \chi_s \geq V_{q_1} (q_1 \in Q_1); \quad (17)$$

б) животноводства

$$\sum_{j \in J} \chi_j \geq V_{q_2} (q_2 \in Q_2); \quad (18)$$

в) мяса диких животных

$$\sum_{n \in N} \chi_n \geq G_{q_3} (q_3 \in Q_3); \quad (12)$$

г) дикорастущих растений

$$\sum_{m \in M} \chi_m \geq G_{q_4} (q_4 \in Q_4); \quad (19)$$

неотрицательности переменных:

$$\chi_s, \chi_j, \chi_n, \chi_m \geq 0. \quad (20)$$

Здесь c_s – доход от производства единицы продукции растениеводства, c_j – доход от производства единицы продукции животноводства, c_n – доход от производства единицы продукции мяса диких животных, c_m – доход от производства единицы продукции дикорастущих ресурсов; $\chi_s, \chi_j, \chi_n, \chi_m$ – объемы производства, соответственно, s -вида продукции растениеводства, j -вида продукции животноводства, n -вида продукции мяса диких животных, m -вида продукции пищевых дикорастущих ресурсов; g_s – площади для производства единицы продукции растениеводства; p_s – площади, обеспечивающие производство единицы продукции животноводства; B – площадь сельскохозяйственных земель; r_n – площади, обеспечивающие производство единицы продукции из мяса диких животных; h_m – площади обеспечивающие производство единицы продукции пищевых дикорастущих ресурсов; H – площадь лесных угодий; $a_{q_2 s}$ – количество корма, необходимое для производства единицы продукции животноводства; A_{q_2} – общее количество кормов; V_{q_1} – необходимый объем растениеводческой продукции; V_{q_2} – необходимый объем продукции животноводства; G_{q_3} – необходимый объем продукции диких животных; G_{q_4} – необходимый объем продукции пищевых дикорастущих ресурсов; $l_{q_1 s}, l_{q_2 j}, l_{q_3 n}, l_{q_4 m}$ – производственно-экономические ресурсы, необходимые для производства, соответственно, s -вида продукции растениеводства, j -продукции животноводства, заготовки n -вида продукции диких животных и m -продукции дикоросов; L – общий объем имеющихся производственно-экономических ресурсов. При этом q_1, q_2, q_3, q_4 характеризуют

разные технологии получения продукции, число которых соответствует Q_1 , Q_2 , Q_3 и Q_4 .

Поскольку некоторые производственно-экономические характеристики аграрного производства и заготовки лесных ресурсов имеют значимые тренды, для оптимизации, помимо линейной модели с детерминированными параметрами (11)-(20), применима задача параметрического программирования, в которой параметр характеризует время.

Модель (11)-(20) может быть использована в различных вариантах: 1) сочетание всех отраслей сельского хозяйства и видов заготовки лесной продукции; 2) сочетание производства сельскохозяйственной продукции и дикоросов; 3) сочетание получения растениеводческой продукции и пищевых дикорастущих ресурсов; 4) сочетание производства животноводческой продукции и заготовки мяса промысловых диких животных. При этом следует учитывать специфику технологий получения продукции и значительные колебания урожайности дикоросов, а также влияние климатических условий на производство и заготовку продовольственной продукции.

Результаты моделирования сочетания производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов показывают выгоду для предприятий и муниципальных районов, осуществляющих деятельность в этом направлении. Причем в некоторых случаях доходы от комплексной деятельности могут увеличиться в 2 раза.

В третьем варианте задачи с интервальными параметрами расхождение минимального и максимального значений целевой функции составило 22,5%. Поскольку урожайность в модели взята, как интервальный параметр, объемы производства растениеводческой продукции варьирую. Помимо урожайности в качестве интервалов в модели использованы прибыль, затраты труда и оплата труда.

Третьим видом межотраслевых задач являются модели оптимизации деятельности разных участников водохозяйственного комплекса, в частности, каскада Ангарских водохранилищ. В работах [8, 9, 12] анализируются различные варианты использования природных ресурсов промышленностью, сельским хозяйством, речным транспортом, рыбным хозяйством, рекреационными объектами, связанными с энергетикой, для оптимального выбора функционирования сложной системы. Сформулированная в работе [6] экономико-экологическая модель направлена на максимизацию доходов, зависящих от гарантированной и дополнительной выработки электроэнергии ГЭС. При этом целевая функция модели направлена на получение максимальных доходов от использования водных ресурсов промышленностью и сельскохозяйственными предприятиями. Подобная задача является многокритериальной, объединяя целью использования и потребления водных ресурсов трех участников.

Ограничения приведенной модели связаны с мощностью эксплуатационного оборудования ГЭС; объемами воды, используемыми и потребляемыми предприятиями; посевными площадями, производимой

промышленной продукцией и концентрацией загрязнителей. Кроме того, при планировании необходимо учитывать количество имеющихся трудовых и производственных ресурсов и неотрицательность переменных.

Следует отметить, что помимо моделей планирования разработаны модели оценки параметров надежности энергетических объектов. Например, в работах [4, 10, 13] приведены различные модели для прогнозирования аварийных отключений в электрических сетях. В частности, по данным об отказах оборудования в Правобережном округе г. Иркутска в [4] построены авторегрессионные, трендовые, тренд-сезонные, факторные и вероятностные модели.

Заключение. В работе выделены некоторые межотраслевые экстремальные задачи, содержащие детерминированные и неопределенные характеристики.

Первая задача, связана с оптимизацией сочетания отраслей с учетом экстремальных климатических и техногенных событий. Предложена модификация целевой функции модели, характеризующая дополнительно потери от загрязнения почвы и водных ресурсов.

Применение второй модели, описывающей оптимизацию сочетания получения продовольственной продукции с учетом заготовки лесных ресурсов, показывает большие возможности для предприятий с подобным направлением деятельности.

Третья модель описывает взаимодействие трех участников водохозяйственного комплекса: энергетика, промышленность, сельское хозяйство. Многокритериальная модель планирования использования природных ресурсов с учетом экономико-экологических показателей может быть дополнена другими пользователями водных ресурсов каскада водохранилищ. Оптимизация использования водных ресурсов разными участниками водохозяйственного комплекса имеет большое значение для управления экономикой региона.

Список литературы

1. Болтвина Е.К. Модели оптимизации заготовки дикорастущей продукции с интервальными параметрами / Е.К. Болтвина, Я.М. Иваньо // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 6(113). – С. 73-81. – DOI 10.21285/1814-3520-2016-6-73-81.
2. Быков А.А. Об экстремальных природных явлениях и оценке природных и экологических рисков / А.А. Быков, В.Н. Башкин // Проблемы анализа рисков. – 2018. – Т.15, № 3. – С. 4-8. DOI 10.32686/1812-5220-2018-15-3-4-5
3. Ершов Ю.С. Практика применения оптимальных мультитерриториальных межотраслевых моделей в стратегическом прогнозировании Российской экономики / Ю.С. Ершов, Л.В. Мельников, В.И. Суслов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. 2009. – Т. 9. – № 4. – С. 9-23.
4. Иваньо Я.М. Моделирование отказов элементов городской электрической сети (10 кВ) на примере правобережного округа города Иркутска / Я.М. Иваньо, И.В. Наумов, М.Н. Полковская // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 9 (203). – С. 87-98.
5. Иваньо Я.М. Планирование аграрного производства в условиях рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Новые аграрные технологии – основной фактор повышения эффективности производства: Материалы научно-практической конференции, Иркутск, 19 февраля 2016 года. – Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2016. – С. 34-40.

6. *Иваньо Я.М.* Экстремальные природные явления: методология, моделирование и прогнозирование / *Я. М. Иваньо.* – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2007. – 266 с.
7. *Ковалева Е.А.* Модуль "Планирование в условиях рисков программного комплекса "Эколого-математическое моделирование аграрного производства"" / *Е.А. Ковалева, Я.М. Иваньо* // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 3 (27). – С. 135-147.
8. *Лаукс Д.* Планирование и анализ водохозяйственных систем / *Д. Лаукс, Дж. Стединжер, Д. Хейт.* – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 400 с.
9. *Лотов В.А.* Введение в экономико-математическое моделирование / *В.А. Лотов.* – М.: Наука, 1984. – 392 с.
10. *Наумов И.В.* О возможности превентивных оценок повреждаемости электрических сетей (на примере ПАО "Россети Ленэнерго") / *И.В. Наумов, М.Н. Полковская* // Надежность и безопасность энергетики. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 72-80. – DOI 10.24223/1999-5555-2022-15-2-72-80.
11. Оптимизация сочетания производства сельскохозяйственной продукции и заготовки мяса диких животных / *Я.М. Иваньо* [и др.] // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы IX международной научно-практической конференции, Иркутск, 21-22 мая 2020 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2020. – С. 211-221.
12. *Раткович Л.Д.* Оценка водохозяйственного и гидроэнергетического потенциала реки на основе имитационного моделирования водохозяйственного баланса / *Л.Д. Раткович, И.Г. Исмаильова, Ю.А. Бовина* [и др.] // Приборостроительство. – 2022. – № 5. – С. 83-92. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-83-92.
13. *Рыбаков Л.М.* Прогнозирование отказов и планирование резерва запасных элементов, аппаратов и оборудования распределенных электрических сетей 10 кВ / *Л.М. Рыбаков, З.Г. Иванова* // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 1. – С. 104-110.
14. Цифровые технологии в аграрном производстве и образовании / *Я.М. Иваньо* [и др.]; под ред. Я.М. Иваньо. – Молодежный: Иркутский ГАУ, 2022. – 126 с.
15. *Черкашин А.К.* Метатеоретическое системное моделирование природных и социальных процессов и явлений в неоднородной среде / *А.К. Черкашин* // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019.– № 1– (13). С. 61-84. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-1-06.
16. *Ivanyo Ya.* Models of optimization of combination of production of agrarian products and harvesting of wild food resources / *Ya. Ivanyo, S. Petrova, M. Barsukova, G. Gombo* // E3S Web of Conferences. – Yekaterinburg, 2020. – Vol. 222: International Scientific and Practical Conference "Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad" (DAIC 2020), Yekaterinburg, Russian Federation, October 15-16. – DOI 10.1051/e3sconf/202022201016.
17. *Nesterenko N.* Sustainable development of organic agriculture: strategies of Russia and its regions in context of the application of digital economy technologies / *N. Nesterenko, N. Pakhomova, K.K. Richter* // St Petersburg University Journal of Economic Studies. 2020. – V. 36.– № 2. – pp. 217-242. DOI: 10.21638/spbu05.2020.203.

Сведения об авторах

Иваньо Ярослав Михайлович – проректор по цифровой трансформации, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89148947219, e-mail: iymex@rambler.ru).

Полковская Марина Николаевна - кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования ИЭУПИ, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89086530349, e-mail: polk_mn@mail.ru).

Федуринa Нина Ивановна - кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования ИЭУПИ, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89149175104, e-mail: fedurina_n@mail.ru).

УДК 519.862:631.559

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ АГРОЛАНДШАФТНЫХ РАЙОНОВ ЛЕСОТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕГИОНА

Иваньо Я.М., Синицын М.Н, Цыренжапова В.В.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В разных частях региона влияние климатических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур различно. Кроме того, уровень использования технологий, техническое оснащение сельскохозяйственных организаций в разных муниципальных образованиях, входящих в различные агроландшафтные районы, отличаются друг от друга. При выделении сельскохозяйственных зон используются природно-климатические характеристики (рельеф, климат, почвы); заселенность территорий (размещение трудовых ресурсов и потребителей продукции); экономическая освоенность (наличие необходимой инфраструктуры). Из трех сельскохозяйственных зон, характеризующих условия производства аграрной продукции в Предбайкалье, выделена лесостепь. Рассмотрены особенности производства сельскохозяйственной продукции в разных агроландшафтных районах этой сельскохозяйственной зоны, в которой производится более половины аграрной продукции Иркутской области. Определены трендовые модели, позволяющие прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур по данным временных рядов муниципальных районов агроландшафтных территорий лесостепной зоны за 1996 – 2021 годы. Применены модели параметрического программирования с параметром в виде времени для планирования объемов производства основных сельскохозяйственных культур на среднесрочную перспективу. Выполнен сравнительный анализ результатов прогнозирования и планирования для выявления наиболее устойчивых муниципальных районов и агроландшафтных территорий по производству растениеводческой продукции.

Ключевые слова: агроландшафтные районы, тренд, прогнозирование, параметрическое программирование, аграрное производство.

FORECASTING AND PLANNING OF CROP PRODUCTION FOR AGROLANDSCAPE AREAS OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE REGION

Ya.M. Ivanyo, M.N. Sinitsyn, V.V. Tsyrenzhapova

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

In different parts of the region, the influence of climatic factors on crop yields is different. In addition, the level of technology use, the technical equipment of agricultural organizations in different municipalities that are part of different agrolandscape regions differ from each other. When allocating agricultural zones, natural and climatic characteristics (relief, climate, soils), population of territories (placement of labor resources and consumers of products), economic development (availability of the necessary infrastructure) are used. Of the three agricultural zones that characterize the conditions for the production of agricultural products in the Cis-Baikal region, the forest-steppe is singled out. The features of agricultural production in different agrolandscape regions of this agricultural zone, in which more than half of the agricultural products of the Irkutsk region are produced, were considered. Trend models that make it possible to predict the yield of agricultural crops according to the time series of municipal districts of agrolandscape territories of the forest-steppe zone for 1996-2021 were determined. Models of parametric programming with a parameter in the form of time for planning the production volumes of major crops in the medium term are applied. A comparative analysis of the results of forecasting and planning was carried out to identify the most stable municipal districts and agrolandscape areas for the production of crop products.

Key words: agricultural landscape areas, trend, forecasting, parametric programming, agricultural production.

Введение. Традиционно Иркутская область относится к сельскохозяйственному региону, несмотря на наличие огромного запаса полезных ископаемых и значительного энергетического потенциала. Сельское хозяйство Иркутской области производит около 10% объемов валовой продукции Сибирского федерального округа. Успешно выполняется Государственная программа региона "Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия" на 2019-2024 годы [1]. Динамично развивается растениеводство и животноводство [14]. В 2022 году получен рекордный урожай зерновых культур за последние 30 лет. Увеличиваются надои молока на одну фуражную корову.

В Иркутской области осуществлен переход от «зональных систем земледелия» к агроландшафтным [2, 16, 17], более дифференцированным и адресным, где основным объектом системы земледелия является не обширная физико-географическая зона, а определенный агроландшафтный район со специфическими, свойственными ему условиями (рельефом, климатом и микроклиматом, почвами и др.).

Развитие экономики требует решения задач прогнозирования и планирования. В работе [8] предложена стохастическая модель прогнозирования развития экономики. Автором [13] рассматриваются методы экономико-математического моделирования для анализа экономических процессов в промышленности. В статье [18] затронуты вопросы стратегического направления эффективного функционирования аграрного сектора экономики. Стратегическое планирование в свою очередь связано с решением частных задач - информационным обеспечением [15], прогнозированием производственно-экономических характеристик [4, 5, 19], оценкой рисков [7, 21], построением адаптивных математических моделей оптимизации получения, переработки и реализации продукции [3, 6].

Для развития сельского хозяйства на среднесрочную и долгосрочную перспективы, необходимы алгоритмы эффективного прогнозирования и планирования производства аграрной продукции с учетом особенностей подстилающей поверхности и изменчивости климатических характеристик. Основной характеристикой как индикатора деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя является урожайность сельскохозяйственных культур.

Цель работы заключается в среднесрочном прогнозировании и планировании производства растениеводческой продукции с учетом природно-климатических особенностей территорий для лесостепной зоны Иркутской области с использованием трендов и задач параметрического программирования.

Материалы и методы. В качестве материалов в работе использованы сведения различных авторов, посвященные прогнозированию и параметрическому программированию для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции. Для прогнозирования и планирования растениеводческой продукции использованы статистические материалы о

производственно-экономических показателях сельского хозяйства 12-и муниципальных районов Иркутской области за 1996 - 2021 гг.

При решении задач планирования и прогнозирования применялись методы: теории вероятностей и математической статистики, прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, математического программирования в условиях неполной информации.

Основные результаты и обсуждение. По действующему в настоящее время природно-сельскохозяйственному районированию территория Иркутской области разделена на три сельскохозяйственные зоны: остепненную, лесостепную и подтаежно-таежную [16, 17].

Особый интерес для аграрного производства представляет лесостепная зона Иркутской области, расположенная вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали от Иркутска до Тулуна, а также на правом берегу верхнего течения Ангары. Это основная сельскохозяйственная зона региона, дающая почти 60% общеобластного производства продукции сельского хозяйства. Она характеризуется наиболее благоприятными климатическими условиями [16, 17].

Лесостепная зона включает в себя три агроландшафтных района: Центральный лесостепной, Юго-восточный лесостепной и Боханско-Осинский лесостепной. Центральный лесостепной агроландшафтный район характеризуется умеренно холодным климатом. В него входят административные районы: Тулунский, Куйтунский, Заларинский, Зиминский, Аларский. Юго-восточный лесостепной агроландшафтный район – умеренно-тёплый. В него входят административные районы: Ангарский, Иркутский, Усольский, Черемховский, Шелеховский. Боханско-Осинский лесостепной агроландшафтный район – умеренно холодный. Он включает в себя административные районы: Боханский, Осинский.

Из всех зон – лесостепная зона, в целом, характеризуется благоприятными условиями для производства растениеводческой продукции.

Анализ динамики рядов урожайности различных сельскохозяйственных культур в муниципальных районах лесостепи показывает, что они имеют различные особенности.

Наиболее распространенными для прогнозирования исследуемой характеристики являются различные виды трендовых моделей: линейные, и нелинейные (степенная, логарифмическая, логистическая, асимптотическая). Однако в некоторых случаях отсутствует устойчивая динамика этой характеристики, поэтому временной ряд можно рассматривать как случайную величину, подчиняющуюся закону распределения вероятностей. Бывают ситуации, когда имеют место тенденции урожайности сельскохозяйственных культур, однако, временной ряд обладает значительным рассеянием или дисперсией. В этом случае использование трендов может привести к неточным результатам. Следует отметить, что подобные временные ряды могут быть описаны значимыми нелинейными трендами с насыщением [9, 10]. В этом

случае использование нелинейных трендов с неограниченным ростом может приводить к неудовлетворительным результатам.

Если же временные ряды имеют устойчивую динамику и могут быть описаны значимыми трендами, возможно их прогнозирование с различным упреждением. Для выявления трендов обработаны многолетние данные урожайности различных культур (пшеницы, овса, ячменя, картофеля, моркови и свеклы) по двенадцати муниципальным районам лесостепной зоны Предбайкалья за 1996-2021 гг., которые входят в три агроландшафтные районы (табл. 1 – 3).

Таблица 1 – Модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур по данным муниципальных районов Центрального лесостепного агроландшафтного района за период 1996 - 2021 гг.

Культура	Уравнение	R^2	F-критерий Фишера	Уровень значимости F-критерия	t-статистики Стьюдента
Тулунский район					
Пшеница	$y=24,5/(1+e^{-0,075t})$	0,48	23,2	$6,59 \times 10^{-5}$	-4,8
Овес	$y=23,1/(1+e^{-0,099t})$	0,64	46,0	$4,13 \times 10^{-7}$	-6,8
Ячмень	$y=30,1-(30,1-9,4)e^{-0,059t}$	0,42	18,7	$2,13 \times 10^{-4}$	-4,3
Картофель	$y=155,4/(1+e^{-0,180t})$	0,82	118,4	$5,68 \times 10^{-11}$	-10,9
Морковь	$y=278,7/(1+e^{-0,0119t})$	0,53	29,0	$1,59 \times 10^{-5}$	-5,4
Свекла	$y=314,5/(1+e^{-0,084t})$	0,28	8,56	$8,10 \times 10^{-3}$	-2,9
Куйтунский район					
Пшеница	$y=26,8/(1+e^{-0,094t})$	0,69	54,5	$1,66 \times 10^{-7}$	-7,4
Овес	$y=24,7-12,9e^{-0,150t}$	0,70	33,1	$6,68 \times 10^{-5}$	-5,75
Ячмень	$y=25,7/(1+e^{-0,089t})$	0,67	49,5	$3,62 \times 10^{-7}$	-7,0
Картофель	$y=210,69t^{0,115}$	0,64	41,3	$1,48 \times 10^{-6}$	-6,4
Морковь	$y=271,3/(1+e^{-0,123t})$	0,56	30,3	$1,36 \times 10^{-5}$	-5,5
Свекла	$y=294,6/(1+e^{-0,077t})$	0,30	10,5	$3,63 \times 10^{-3}$	-3,2
Зиминский район					
Пшеница	$y=22,3/(1+e^{-0,141t})$	0,87	58,8	$5,90 \times 10^{-5}$	-7,7
Овес	$y=24,1-18e^{-0,0692t}$	0,42	18,0	$2,79 \times 10^{-4}$	-4,2
Ячмень	$y=20/(1+e^{-0,1127t})$	0,63	43,3	$8,32 \times 10^{-7}$	-6,5
Картофель	$y=150,7/(1+e^{-0,132t})$	0,59	36,5	$3,03 \times 10^{-6}$	-6,0
Морковь	$y=297,9-294,6e^{-0,104t}$	0,59	36,3	$3,20 \times 10^{-6}$	-6,0
Свекла	$y=323,8/(1+e^{-0,069t})$	0,86	150,9	$7,69 \times 10^{-12}$	12,3
Заларинский район					
Пшеница	$y=21,3/(1+e^{-0,0956t})$	0,69	56,7	$8,94 \times 10^{-8}$	-7,5
Овес	$y=27,7-19,4e^{-0,0652t}$	0,49	24,5	$4,21 \times 10^{-5}$	-4,9
Ячмень	$y=22,7/(1+e^{-0,124t})$	0,64	12,5	$1,24 \times 10^{-2}$	-3,5
Картофель	$y=178,8/(1+e^{-0,197t})$	0,54	7,06	$4,50 \times 10^{-2}$	-2,6
Морковь	$y=309,1-71,2e^{-0,0449t}$	0,85	137,6	$3,46 \times 10^{-11}$	-11,7
Свекла	$y=353,1-60,6e^{-0,0785t}$	0,40	15,7	$6,16 \times 10^{-4}$	-4,0
Аларский район					
Пшеница	$y=24,9/(1+e^{-0,09213t})$	0,57	32,3	$8,69 \times 10^{-6}$	-5,7
Овес	$y=22,6/(1+e^{-0,126t})$	0,60	27,9	$5,01 \times 10^{-5}$	-5,3
Ячмень	$y=24,3/(1+e^{-0,102t})$	0,52	21,5	$1,80 \times 10^{-4}$	-4,6
Картофель	$y=141,9/(1+e^{-0,104t})$	0,44	16,2	$6,54 \times 10^{-4}$	-4,0
Морковь	$y=300,1/(1+e^{-0,174t})$	0,60	31,8	$1,60 \times 10^{-5}$	-5,6
Свекла	$y=286,6/(1+e^{-0,240t})$	0,79	79,8	$2,03 \times 10^{-8}$	-8,9

Эта работа является продолжением исследований по состоянию и перспективам развития производства растениеводческой продукции в муниципальных районах Иркутской области [10, 12].

Алгоритм построения трендов заключался в подборе методом наименьших квадратов наилучшей функции (линейной и нелинейных с неограниченным ростом и насыщением) согласно коэффициенту детерминации R^2 , F -критерию Фишера и t -статистикам Стьюдента.

В таблице 1 приведены наиболее устойчивые прогностические тренды урожайности зерновых культур, картофеля и овощей для муниципальных районов, входящих в Центральный лесостепной агроландшафтный район. Наилучшие результаты получены для Куйтунского, Зиминского и Аларского районов. В этих районах незначимые регрессионные выражения выявлены для урожайности свеклы, овса и картофеля. Несколько хуже результаты для Заларинского и Тулунского районов. Для первого из них коэффициенты детерминации ниже 0,50 оказались для урожайности овса и свеклы, а для второго района – для урожайности пшеницы, ячменя и свеклы. При статистической обработке использованы данные по всем категориям хозяйств. Следует обратить внимание на высокую урожайность зерновых культур в Куйтунском и Тулунском районах.

Таблица 2 – Модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур по данным муниципальных районов Юго-Восточного агроландшафтного района за период 1996 - 2021 гг.

Культура	Уравнение	R^2	F -критерий Фишера	Уровень значимости F -критерия	t -статистики Стьюдента
Иркутский район					
Пшеница	$y=24,6/(1+e^{-0,0659t})$	0,53	27,9	$2,01 \times 10^{-5}$	-5,3
Овес	$y=20,4/(1+e^{-0,0926t})$	0,51	25,7	$3,49 \times 10^{-5}$	-5,1
Ячмень	$y=24,9-6,8e^{-0,0545t}$	0,39	16,3	$4,83 \times 10^{-4}$	-4,0
Картофель	$y=181,3/(1+e^{-0,117t})$	0,47	22,5	$7,95 \times 10^{-5}$	-4,7
Морковь	$y=7,17t+112,6$	0,81	106,0	$2,79 \times 10^{-10}$	10,3
Свекла	$y=247,7/(1+e^{-0,0999t})$	0,55	28,9	$1,86 \times 10^{-5}$	-5,4
Усольский район					
Пшеница	$y=28,7/(1+e^{-0,0988t})$	0,71	63,6	$3,32 \times 10^{-8}$	-8,0
Овес	$y=25,94/(1+e^{-0,110t})$	0,69	56,8	$8,90 \times 10^{-8}$	-7,5
Ячмень	$y=31,38/(1+e^{-0,112t})$	0,60	37,0	$2,78 \times 10^{-6}$	-6,1
Картофель	$y=222,01/(1+e^{-0,118t})$	0,53	28,6	$1,70 \times 10^{-5}$	-5,4
Морковь	$y=107,4t^{0,351}$	0,52	24,7	$4,99 \times 10^{-5}$	5,0
Свекла	$y=332,9/(1+e^{-0,104t})$	0,64	43,4	$1,01 \times 10^{-6}$	-6,6
Черемховский район					
Пшеница	$y=31,0/(1+e^{-0,0810t})$	0,59	36,3	$3,22 \times 10^{-6}$	-6,0
Овес	$y=32,2-9,9e^{-0,0705t}$	0,63	42,9	$8,86 \times 10^{-7}$	-6,6
Ячмень	$y=29,0-10,0e^{-0,0983t}$	0,73	66,6	$2,21 \times 10^{-8}$	-8,2
Картофель	$y=194,0/(1+e^{-0,0949t})$	0,43	18,9	$2,17 \times 10^{-4}$	-4,4
Морковь	$y=8,21t+130,2$	0,67	245,9	$4,11 \times 10^{-14}$	15,7
Свекла	$y=355,6-130,5e^{-0,0557t}$	0,25	7,73	$1,06 \times 10^{-2}$	-2,8

Добавим к этому, что для Аларского района период данных урожайности ячменя и овса охватывает 2001 – 2021 и 2002 - 2021 гг. Это обусловлено низкой точностью информации.

Уравнения трендов для урожайности зерновых культур, картофеля и овощей для муниципальных районов Юго-Восточного агrolандшафтного района приведены в таблице 2.

Особо следует отметить Усольский и Черемховский районы с высокими показателями урожайности сельскохозяйственных культур. В Иркутском районе неустойчиво производство картофеля и ячменя, а в Черемховском – картофеля и свеклы.

Следует отметить, что в таблице 2 отсутствуют модели для Ангарского и Шелеховского районов, поскольку производство растениеводческой продукции там развито слабо по сравнению с приведенными районами.

Тренды урожайности различных культур Боханского и Осинского районов приведены в таблице 3. Урожайность сельскохозяйственных культур данных районов несколько ниже по отношению к предыдущим агrolандшафтным районам. В Боханском районе неустойчивым является производство овса, картофеля и свеклы, а в Осинском – моркови.

Таблица 3 – Модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур по данным муниципальных районов Боханско-Осинского агrolандшафтного района за период 1996 - 2021 гг.

Культура	Уравнение	R^2	F-критерий Фишера	Уровень значимости F-критерия	t-статистики Стьюдента
Боханский район					
Пшеница	$y=22,4-13,7e^{-0,0863t}$	0,64	44,46	$6,76 \times 10^{-7}$	-6,67
Овес	$y = 0,674t + 11,4$	0,71	31,41	$8,56 \times 10^{-5}$	5,60
Ячмень	$y=23,8-8,4e^{-0,0652t}$	0,55	30,26	$1,18 \times 10^{-5}$	-5,50
Картофель	$y=148,4/(1+e^{-0,0783t})$	0,32	11,43	$2,58 \times 10^{-3}$	-3,38
Морковь	$y=286,5/(1+e^{-0,212t})$	0,62	35,26	$6,80 \times 10^{-6}$	-5,94
Свекла	$y=300,1/(1+e^{-0,131t})$	0,48	20,67	$1,76 \times 10^{-4}$	-4,55
Осинский район					
Пшеница	$y=21,8-8,7e^{-0,0704t}$	0,62	39,45	$2,08 \times 10^{-6}$	-6,28
Овес	$y=21,0-8,4e^{-0,0652t}$	0,51	25,23	$4,41 \times 10^{-5}$	-5,02
Ячмень	$y=19,5/(1+e^{-0,0823t})$	0,66	46,07	$6,37 \times 10^{-7}$	-6,79
Картофель	$y=335,5/(1+e^{-0,160t})$	0,69	47,19	$1,13 \times 10^{-6}$	-6,87
Морковь	$y=156,0/(1+e^{-0,190t})$	0,41	14,62	$1,06 \times 10^{-3}$	-3,82
Свекла	$y=0,048t$	0,84	108,2	$1,62 \times 10^{-9}$	10,40

Обобщая полученные результаты можно сказать, что в целом ряды урожайности сельскохозяйственных культур лесостепной зоны характеризуются устойчивыми линейными и нелинейными трендами. При этом чаще всего значимые тренды являются логистическими или асимптотическими. Наличие устойчивых тенденций можно использовать в задачах параметрического

программировании для построения планов производства растениеводческой продукции на среднесрочную перспективу.

Детерминированная задача параметрического программирования для планирования аграрного производства формулируется следующим образом [16]:

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{is} y_{is}(t) x_{is} - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} c_{is} x_{is} \rightarrow \max, \quad (1)$$

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} v_{lis} x_{is} \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I); \quad (2)$$

ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n} \leq \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} (1 + \alpha_s) x_{is} \leq \bar{n}; \quad (3)$$

производства конечной продукции не менее заданного объема

$$\sum_{i \in I} y_{is}(t) x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S), \quad (4)$$

ограниченности вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} w_{mis} x_{is} \leq W_{mi} \quad (m \in M, i \in I); \quad (5)$$

неотрицательности переменных

$$x_{is} \geq 0, \quad (6)$$

где d_{is} – цена реализации s -культуры для поля i ; $y_{is}(t)$ – выход продукции с единицы площади s -культуры для поля i , характеризующийся некоторой функциональной зависимостью от параметра t ; x_{is} – площадь возделывания s -культуры на поле i ; c_{is} – затраты на 1 га поля i для s -культуры; v_{lis} – расход ресурса l на единицу площади s -культуры для поля i ; V_{li} – наличие ресурса вида l для поля i ; Y_s – гарантированный (минимальный) объем производства продукции s -культуры; \bar{n} , \underline{n} – максимально и минимально возможная площадь возделывания культур; α_s – коэффициент, учитывающий площадь посевов семян s -культуры; w_{mis} – расход удобрения (средства защиты растений) m -вида на единицу площади i -поля s -культуры; W_{mi} – наличие удобрения m -вида для i -го поля.

При оптимизации производства растениеводческой продукции посевная площадь увеличивалась ежегодно на 2 % относительно предыдущего года. Приведенные результаты описывают инерционный путь развития растениеводства в рассматриваемых муниципальных районах.

Результаты решения задачи параметрического программирования для Центрального лесостепного агроландшафтного района на 2022 - 2025 гг. приведены в таблице 4.

Поскольку урожайность сельскохозяйственных культур имеет положительную тенденцию, в среднем доход увеличивается на 5-7%, что

подтверждает потенциал для развития деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей. Даже незначительное улучшение технологических процессов может в значительной степени увеличить доходы хозяйств.

Таблица 4 - Оптимальные решения задач параметрического программирования с использованием линейных и нелинейных тенденций роста урожайности сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Центрального лесостепного агроландшафтного района на 2022 - 2025 гг.

Характеристика	Год	Пшеница, x_1	Ячмень, x_2	Овес, x_3	Картофель, x_4	Свекла, x_5	Морковь, x_6	Целевая функция, млн руб.
Тулунский район								
Объемы, т	2022	58742	15186	12390	11657	132	257	679,55
	2023	59916	15489	12638	11891	134	262	693,32
	2025	62337	16115	13149	12371	140	273	721,61
Куйтунский район								
Объемы, т	2022	116787	20058	11859	11897	262	315	1035,70
	2023	119978	20616	12193	12082	270	323	1055,85
	2025	126401	21742	12865	12468	285	339	1097,41
Заларинский район								
Объемы, т	2022	36144	7877	15570	9608	104	143	542,12
	2023	37105	8086	16019	9809	106	147	553,05
	2025	39041	8509	16925	10219	110	154	575,55
Зиминский район								
Объемы, т	2022	13809	3474	5633	9381	241	313	270,15
	2023	14179	3561	5796	9601	248	322	275,94
	2025	14925	3736	6124	10045	263	338	287,44
Аларский район								
Объемы, т	2022	46085	21517	21290	5779	57	118	646,23
	2023	47355	22154	21888	5941	58	120	659,66
	2025	49913	23427	23076	6264	61	126	687,23

Что касается сравнительного анализа, то согласно полученным результатам, объемы производства растениеводческой продукции в районах, приведенных в таблице 4, имеют значительные различия, что связано с особенностями производства и специализацией сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Аналогичные результаты получены для Юго-Восточного (таблица 5) и Боханско-Осинского (таблица 6) лесостепных агроландшафтных районов. Следует отметить, что доходы в Юго-Восточном лесостепном агроландшафтном районе выше по сравнению с Центральным агроландшафтным районом. Например, в Иркутском районе согласно расчетам, доход за 4 год увеличится на 7,2%, в Усольском – на 7,0%, в Черемховском - на 6,7%.

Немного ниже производственный потенциал у районов, входящих в Боханско-Осинский лесостепной агроландшафтный район. В Осинском районе доход за рассматриваемый период увеличится на 6,2%, а в Боханском – на 6,5%.

Таким образом, полученные прогностические значения биопродуктивности сельскохозяйственных культур на период до 2025 года,

позволили рассчитать оптимальные планы и доходы деятельности хозяйств рассматриваемых районов лесостепной зоны с упреждением на 4 года.

Таблица 5 - Оптимальные решения задач параметрического программирования с использованием линейных и нелинейных тенденций роста урожайности сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Юго-Восточного лесостепного агроландшафтного района на 2022 - 2025 гг.

Характеристика	Год	Пшеница, x_1	Ячмень, x_2	Овес, x_3	Картофель, x_4	Свекла, x_5	Морковь, x_6	Целевая функция, млн руб.
Иркутский район								
Объемы, т	2022	8278	4916	3245	61312	2981	4296	827,84
	2023	8522	5034	3333	62806	3063	4424	847,64
	2025	9018	5270	3508	65847	3221	4618	887,77
Усольский район								
Объемы, т	2022	18824	30764	9781	55591	2355	3561	947,76
	2023	19344	31589	10017	56942	2416	3641	969,51
	2025	20349	33084	12607	59684	2537	3804	1013,83
Черемховский район								
Объемы, т	2022	66388	33642	22934	23403	406	344	892,34
	2023	68252	34395	23469	24027	416	359	911,93
	2025	72019	35928	24561	25284	437	391	952,00

Таблица 6 - Оптимальные решения задач параметрического программирования с использованием линейных и нелинейных тенденций роста урожайности сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Боханско-Осинского лесостепного агроландшафтного района на 2022 - 2025 гг.

Характеристика	Год	Пшеница, x_1	Ячмень, x_2	Овес, x_3	Картофель, x_4	Свекла, x_5	Морковь, x_6	Целевая функция, млн руб.
Боханский район								
Объемы, т	2022	40729	14296	8726	6078	57	115	498,03
	2023	41764	14667	8940	6254	58	118	508,59
	2025	43857	15428	9374	6610	61	124	530,29
Осинский район								
Объемы, т	2022	14685	2159	10354	4468	60	114	256,54
	2023	15048	2211	10650	4567	62	117	261,79
	2025	15786	2316	11247	4767	66	123	272,56

Анализ относительных разностей между плановыми и фактическими объемами зерновых культур по данным 2021 года показывает, что средняя относительная погрешность для лесостепной зоны составила менее 2 % в сторону завышения плановых результатов. Наименьшее расхождение между плановыми и фактическими данными имеют место для Центрального лесостепного агроландшафтного района - 1,2 %. Что касается Юго-восточного лесостепного агроландшафтного района, то аналогичное значение для него составило 8,1 %, а для Боханско-Осинского лесостепного агроландшафтного района - 5,8 %. Для первых двух районов плановые значения оказались

завышенными, а для третьего - заниженными. Наибольшие расхождения между планами и фактическими данными получены для Зиминского, Усольского и Иркутского районов - 17,4; 20,9 и 10,9 %. Причем плановые показатели оказались выше фактических.

По полученным результатам темпы производства растениеводческой продукции в Юго-Восточном лесостепном агроландшафтном районе опережают темпы роста аналогичных характеристик в Центральном и Боханско-Осинском лесостепном агроландшафтных районах.

Между тем предложенные модели описывают инерционный путь развития растениеводства в районах. Поэтому возможно использование экспертных оценок для построения более интенсивных тенденций улучшения деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей в зависимости от внедрения новых технологий и повышения производительности труда.

Выводы. В целом ряды урожайности сельскохозяйственных культур лесостепной зоны характеризуются значимыми линейными и нелинейными трендами. При этом чаще всего значимыми являются логистические или асимптотические модели.

Результаты прогнозов по трендовым моделям применены в задачах параметрического программирования, которые позволяют получать оптимальные планы в зависимости от параметров, характеризующих в конкретном случае время.

Построены однопараметрические модели оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом выявленных особенностей урожайности различных сельскохозяйственных культур.

Полученные прогностические значения биопродуктивности сельскохозяйственных культур на период до 2025 года, позволили рассчитать оптимальные планы и доходы деятельности хозяйств рассматриваемых агроландшафтных районов лесостепной сельскохозяйственной зоны.

Во всех районах лесостепной зоны производство аграрной продукции находится на высоком уровне.

Полученные прогнозы и планы по разработанному алгоритму для рассматриваемой территории определены впервые, поэтому требуется дальнейшая работа по улучшению алгоритма и корректировке результатов моделирования.

Список литературы

1. Государственная программа Иркутской области "Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия" на 2019-2024 годы, ред. 04.03.2022.
2. Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Иркутской области / под ред. Н.Н. Дмитриева, В.И. Солодуна, Ф.С. Султанова, А.А. Разиной. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2015. –132 с.
3. Асалханов П. Г. Модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в задачах параметрического программирования / П.Г. Асалханов, Я.М. Иваньо, М.Н. Полковская // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 2 (121). – С. 57-66.

4. Астафьева М. Н. Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических параметров и продуктивности сельскохозяйственных культур на юге Восточной Сибири / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Экологический Вестник. – 2013 – № 3 (25). - С. 13-18.

5. Ашабоков Б.А. Некоторые результаты прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с учетом изменений агрометеорологических факторов /Б.А. Ашабоков, Р.М. Бисчоков, Б.Р. Бисчоков // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2007. - № 5. – С. 97-101.

6. Барсукова М.Н. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях /М.Н. Барсукова, Я.М. Иванько, С.А. Петрова //Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2020. - № 3 (19). – С. 73-85.

7. Белякова А.Ю. Особенности рисков производства сельскохозяйственной продукции в разных агроландшафтных районах Иркутской области / А.Ю. Белякова, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // В сборнике: Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти А.А. Ежевского. - п. Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2022. – С. 167-177.

8. Воронцовский А.В. Прогнозирование развития экономики на основе стохастической модели экономического роста с учетом точки поворота / А.В. Воронцовский, Л.Ф. Выюненок // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2016. – № 4. – С. 4-32.

9. Иванько Я.М. Модели роста с насыщением в задаче параметрического программирования применительно к аграрному производству / Я.М. Иванько, С.А. Петрова, В.В. Цыренжапова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2022. № 2 (26). – С. 42-52.

10. Иванько Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Электронный научно-практический журнал «Актуальные вопросы аграрной науки». - 2022. - № 42. - С. 48-57.

11. Иванько Я.М. О трендах изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур для некоторых территорий агроландшафтных районов Иркутской области /Я.М. Иванько, Е.С. Тулунова, Д.Р.Чернигова // В сборнике: Основные приемы и технологии совершенствования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Солодуна Владимира Ивановича. - Молодёжный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2022. - С. 88-95.

12. Иванько Я.М. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур и оценка рисков получения урожая на примере Заларинского района / Я.М. Иванько., М.Н. Попова //В сборнике: Основные приемы и технологии совершенствования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Солодуна Владимира Ивановича. - Молодёжный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2022. - С. 209-216.

13. Кулясова А.С. Экономико-математическое моделирование как эффективный инструмент анализа экономических процессов в промышленности / А.С. Кулясова, А.Р. Есина, В.Д. Свирчевский // Экономика промышленности. – 2019. – Т. 12. – № 3. – С. 316-322.

14. Министерство сельского хозяйства. Официальный сайт URL: <https://irkobl.ru/sites/agroline/>(дата обращения 10.04.2023)

15. Осенний В.В. Моделирование информационных систем планирования аграрного производства / В.В. Осенний //Фундаментальные исследования. - 2020. - № 12. - С. 151-156.

16. Серышев В.А. Агроландшафтное районирование Иркутской области и проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Методические указания /В.А. Серышев, В.И. Солодун. - Иркутск, 2010 - 73 с.
17. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: в 2-х ч. Монография /Под редакцией Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. – Иркутск: Изд-во Мегатрип, 2019. - Ч. 1. – 319 с.
18. Смагин Б.И. Оптимизация отраслевой структуры производства как стратегическое направление эффективного функционирования аграрного сектора экономики / Б.И. Смагин, А.Б. Смагина // Вестник МичГАУ. – 2014. – № 2. – С. 97-101.
19. Хворова Л.А. Прогнозирование урожайности зерновых культур: методы и расчеты / Н.В. Гавриловская, Л.А. Хворова //Известия АГУ. Информатика. – 2008. - № 1(57). – С. 65-68.
20. Buzina T. Multicriteria problem with uncertainty parameters for modeling obtaining forest food products / T. Buzina, Ya. Ivanyo, M. Polkovkaya //International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. - 2020. - Pp. 9271204.
21. Ivanyo Ya. M. Modeling of the production of agrarian products under the conditions of influence of droughts, rainfall and their combinations / Ya. M. Ivanyo, S. A. Petrova, M. N. Polkovskaya, N. I.Fedurina // Critical infrastructures: Contingency management, Intelligent, Agent-based, Cloud computing and Cyber security. Proceedings of the Vth International workshop. Advances in Intelligent Systems Research. - Irkutsk, 2018. - Pp. 78-84.

Сведения об авторах

Иваньо Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования института экономики, управления и прикладной информатики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8(3952)237491, e-mail: iasa_econ@rambler.ru).

Синицын Максим Николаевич - аспирант кафедры информатики и математического моделирования, институт экономики, управления и прикладной информатики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный, тел. 8(950)080 8801, e-mail: maks.sinitsyn.94@mail.ru).

Цыренжапова Валентина Вячеславовна – аспирант кафедры информатики и математического моделирования, институт экономики, управления и прикладной информатики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный, тел. 8(950)1411589, e-mail: tsyrenzhapova_v@mail.ru).

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ С ВЕРОЯТНОСТЬЮ ВЫСОКИХ ПОТЕРЬ УРОЖАЯ

Иваньо Я.М., Колокольцева И.М., Петрова С.А.

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

В работе рассматривается алгоритм, с помощью которого можно оптимизировать производство аграрной продукции в условиях высоких потерь урожая, соответствующих расчетным вероятностям. Описанная последовательность операций для получения оптимальных планов основана на построении многоуровневых трендов временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур. Значимые трендовые модели, характеризующие усредненные и неблагоприятные условия производства продукции, позволяют прогнозировать биопродуктивность культур и усредненные потери как разность уровней тренда всего ряда и последовательности нижних уровней. Разности между фактическими значениями и значениями тренда нижних уровней представляют собой высокие потери, подчиняющиеся закону распределения вероятностей. Для получения оптимальных решений с использованием трендов и случайных величин применены модели параметрического и линейного программирования с вероятностными оценками. Благодаря применению задач параметрического программирования можно определить оптимальные планы получения валовой продукции с краткосрочной и среднесрочной заблаговременностью. В дополнение к этому с помощью линейных экстремальных задач с некоторой вероятностью рассчитываются планы деятельности товаропроизводителя в условиях высоких потерь урожая. Предложенный алгоритм реализован для планирования производства растениеводческой продукции с вероятностью высоких потерь урожая в Бокханском районе.

Ключевые слова: планирование, задача математического программирования, вероятность, потери, аграрное производство.

OPTIMIZATION OF PRODUCTION OF AGRICULTURAL PRODUCTS WITH THE PROBABILITY OF HIGH HARVEST LOSSES

Ivanyo Ya.M., Kolokoltseva I.M., Petrova S.A.

FSBEI HE Irkutsk SAU

Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

The paper considers an algorithm that can be used to optimize the production of agricultural products in conditions of high crop losses corresponding to the calculated probabilities. The described sequence of operations for obtaining optimal plans is based on the construction of multilevel trends for crop yield time series. Significant trend models that characterize the average and unfavorable conditions of production allow predicting the bioproductivity of crops and average losses as the difference between the trend levels of the entire series and the sequence of lower levels. The differences between the actual values and the values of the trend of the lower levels represent high losses, subject to the law of probability distribution. To obtain optimal solutions using trends and random variables, parametric and linear programming models with probabilistic estimates are used. Using the problem of parametric programming, it is possible to determine the optimal plans for obtaining gross output with a short and medium term lead time. In addition, with the help of linear extremal problems, the activity plans of the commodity producer are calculated, which correspond to a certain probability of high crop losses. The proposed algorithm is implemented for planning the production of crop products with the probability of high crop losses in the Bokhan district.

Keywords: planning, mathematical programming problem, probability, losses, agricultural production.

Введение. В стране динамично развивается сельское хозяйство. При этом правильное планирование производства сельскохозяйственной продукции на основе оценки тенденций позволяет эффективно использовать трудовые и производственные ресурсы для достижения плановых показателей [19]. Многие авторы обращают внимание на методы прогнозирования и планирования производства аграрной продукции для роста показателей деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей [3, 22].

Для прогнозирования и планирования аграрного производства применимы различные математические модели на разных уровнях агрегирования. В монографии [21] приведены экономико-математические модели для разных отраслей сельского хозяйства, в том числе с учетом рисков.

Поскольку сельское хозяйство сильно зависит от климатических факторов и экстремальных явлений для оптимизации разных аспектов производства продукции используют задачи математического программирования с вероятностными оценками, для решения которых применяются различные методы [16, 18]. Экстремальные задачи с вероятностными и интервальными оценками широко используются для планирования производства аграрной продукции [4, 7, 12].

Наибольшие ущербы сельскому хозяйству наносят экстремальные события природного и биологического происхождения [13, 14]. Среди них выделяются редкие явления, влияние которых на производственные процессы получения аграрной продукции может приводить к существенным потерям, а в отдельных случаях к катастрофическим последствиям.

Для оценки экстремальных событий и редких явлений применяют разнообразные статистические методы, описанные во многих литературных источниках, некоторые из которых приведены в работе [5, 8, 11, 15, 17, 20, 23].

При анализе многолетних последовательностей климатических, производственно-экономических и экологических характеристик выделяются ряды, которые обладают тенденциями роста и высокой степенью рассеяния. Такие ряды могут быть описаны значимыми многоуровневыми трендами, характеризующими усредненные, благоприятные и неблагоприятные условия деятельности товаропроизводителя [2, 11]. Вместе с тем отклонения уровней от трендов последовательностей низких уровней, полученных методом выделения ложбин [6], представляют собой случайные отклонения, описываемые законом распределения вероятностей [11]. В этом случае для оптимизации производства аграрной продукции применимы задачи параметрического программирования с вероятностными оценками. В качестве параметра используется время [1, 9, 10, 12].

Целью работы является описание алгоритма оптимизации производства аграрной продукции с вероятностью высоких потерь урожая сельскохозяйственным товаропроизводителем.

Задачами исследования являются: рассмотрение алгоритма построения и реализации модели оптимизации аграрного производства с вероятностью высоких потерь и сравнительный анализ полученных результатов для усредненных и неблагоприятных ситуаций.

Материалы и методы. В работе использованы материалы разных авторов по вопросам прогнозирования и планирования аграрного производства, построения математических моделей оптимизации получения сельскохозяйственной продукции в условиях неопределенности, критериям оценки событий и редких явлений.

Для реализации предложенного алгоритма оптимизации производства аграрной продукции с вероятностью высоких потерь урожая использованы данные по производству растениеводческой продукции в Боханском районе за 1996 - 2021 гг.

Для решения поставленной задачи использован метод построения многоуровневых трендов, а также методы однопараметрического программирования с вероятностными оценками.

Основные результаты. Для оптимизации производства аграрной продукции с вероятностью высоких потерь урожая сельскохозяйственным товаропроизводителем предложен следующий алгоритм на основе разделения значений ряда на детерминированные и случайные величины [11].

1. По данным временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур строятся двухуровневые тренды по данным всего ряда и последовательности, характеризующей ложбины ряда. Первый тренд описывает усредненную ситуацию производства продукции, а второй – неблагоприятную. В качестве функций применяются линейная и нелинейные модели в виде функций с неограниченным возрастанием и насыщением.

2. При наличии значимых регрессионных выражений по разности между уровнями, расположенными ниже тренда нижних уровней, и значениями этого тренда формируется ряд отклонений. Отрицательные разности характеризуют высокие потери урожайности сельскохозяйственной культуры.

3. По сформированному ряду отклонений, который является случайным, определяются статистические оценки, и строится закон распределения вероятностей. В качестве такового предложено распределение Пирсона III типа, обладающего следующими свойствами: случайная величина изменяется от $-\infty$ до $+\infty$, закон описывает ряды случайных величин с разной асимметрией, причем как положительной, так и отрицательной. При этом этот закон распределения хорошо разработан для практического применения.

4. На основе определения характеристик для целевой функции и ограничений с учетом полученных трендов строится модель параметрического программирования, позволяющая получать результаты для усредненных и неблагоприятных условий ведения сельского хозяйства.

Приведем отраслевою задачу оптимизации производства растениеводческой продукции с функционально зависимыми параметрами в

левых частях ограничений и целевой функцией на максимум дохода. Такая задача может быть записана следующим образом [2].

Критерий оптимальности:

$$\sum_{s \in S} c_s^k x_s \rightarrow \max, \quad (1)$$

при условиях:

– ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} b_{ls}^k(t) x_s \leq B_l, l \in L; \quad (2)$$

– ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{\psi}_w \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{\psi}_w, w \in W; \quad (3)$$

– производства конечной продукции не менее заданного объема

$$\sum_{s \in S} u_{qs}^k(t) x_s \geq U_q(t), q \in Q; \quad (4)$$

– определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} f_{ms}^k x_s \leq F_m, m \in M; \quad (5)$$

– неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0, \quad (6)$$

где x_s - искомая переменная, площадь культуры s или вида кормовых угодий; c_s - доход с 1 га s -культуры или вида кормовых угодий; $b_{ls}^k(t)$ - расход ресурса l на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий, зависящий от параметра t ; k - номер тренда (1 - тренд всего ряда, 2 - тренд последовательности нижних уровней); B_l - наличие ресурса l -вида; $\underline{\psi}_w, \bar{\psi}_w$ - минимально и максимально возможная площадь культур группы w ; α_s - коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры s ; $u_{qs}^k(t)$ - выход товарной продукции q -вида с единицы площади культуры s -вида, зависящий от времени t ; $U_q(t)$ - гарантированный (обязательный) объем производства продукции вида q , зависящий от времени t ; f_{ms}^k - расход m -удобрений и средств защиты на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий; F_m - необходимый объем удобрений вида m .

В задаче (1) – (6) ограничения (2) и (4) связаны с параметром t , характеризующим время.

5. Строится модель линейного программирования с вероятностными оценками, полученными при формировании ряда разностей между уровнями, расположенными ниже тренда последовательности нижних значений, и уровнями этого тренда согласно третьему шагу. Определяются оптимальные решения для ситуаций с высокими потерями урожая. Для этого могут быть заданы потери, оценены их вероятности и получены оптимальные планы на максимум доходов. Поскольку урожайность каждой культуры имеет свои

особенности и между биопродуктивностью культур отсутствуют тесные корреляционные связи, для получения оптимальных решений эффективен метод статистических испытаний.

Модель линейного программирования с вероятностными оценками для оптимизации производства растениеводческой продукции с целевой функцией в виде максимума доходов записывается следующим образом. Критерий оптимальности имеет вид:

$$\sum_{s \in S} c_s x_s \rightarrow \max, \quad (7)$$

при условиях:

– ограниченности производственных ресурсов

–

$$\sum_{s \in S} b_{ls}^p x_s \leq B_l, \quad l \in L; \quad (8)$$

– ограниченности размера растениеводческой отрасли

–

$$\underline{\psi}_w \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{\psi}_w, \quad w \in W; \quad (9)$$

– производства конечной продукции заданного объема

–

$$\sum_{s \in S} u_{qs}^p x_s \geq U_q, \quad q \in Q; \quad (10)$$

– определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

–

$$\sum_{s \in S} f_{ms} \leq F_m, \quad m \in M; \quad (11)$$

– неотрицательности переменных

–

$$x_s \geq 0. \quad (12)$$

В этой модели (7) - (12) использованы те же обозначения, что и в предыдущей (1) - (6). Символ p характеризует вероятность рассматриваемого случая. В результате реализации модели можно получить оптимальные решения, связанные с вероятностями потерь урожая.

6. Частным случаем является описание ситуации года с худшими производственно-экономическими характеристиками, а также ситуации с худшими характеристиками для производства продукции каждой культуры. Такие ситуации определяют наибольшие риски относительно некоторых усредненных планов.

Приведем пример реализации алгоритма на примере производства растениеводческой продукции в Боханском районе.

В таблице 1 приведены результаты определения двухуровневых значимых трендов на основе критериев: коэффициента детерминации R^2 , F -критерия Фишера с оценкой значимости выражений α и t -статистики Стьюдента.

Таблица 1 - Асимптотические и логистические тренды урожайности некоторых сельскохозяйственных культур в Боханском районе по данным 1996 - 2021 гг.

Культура	Уравнение	R^2	F -критерий Фишера	Уровень значимости F -критерия	t -статистика	Прогноз		
						2023	2024	2025
Все уровни ряда								
Пшеница	$y = 22,4 - 13,7e^{-0,0863t}$	0,64	44,5	$6,76 \cdot 10^{-7}$	-6,67	21,1	21,2	21,3
Овес	$y = 23,8 - 8,4e^{-0,0653t}$	0,55	29,9	$1,48 \cdot 10^{-5}$	-5,46	22,4	22,4	22,5
Свекла	$y = 286,5(1 + e^{-0,212t})$	0,62	35,3	$6,80 \cdot 10^{-6}$	-5,94	285,1	285,4	285,6
Морковь	$y = 300,1(1 + e^{-0,131t})$	0,48	20,7	$1,76 \cdot 10^{-4}$	-4,55	289,2	290,5	291,6
Картофель	$y = 125,8 / (1 + e^{-0,256t})$	0,82	84,3	$5,35 \cdot 10^{-8}$	-9,2	125,2	125,3	125,4
Ячмень	$y = 21,4 / (1 + e^{-0,219t})$	0,83	73,8	$5,90 \cdot 10^{-7}$	-8,6	21,0	21,1	21,1
Последовательность нижних уровней								
Пшеница	$y = 21 / (1 + e^{-0,109t})$	0,58	5,5	0,020	-2,34	20,1	20,1	20,2
Ячмень	$y = 20,4 / (1 + e^{-0,226t})$	0,78	14,3	0,032	-3,78	20,1	20,1	20,2
Овес	$y = 19,7 - (19,7 - 8,4)e^{-0,089t}$	0,52	10,0	0,013	-3,17	18,4	18,5	18,6
Картофель	$y = 124,1 / (1 + e^{-0,271t})$	0,84	25,8	0,0071	-5,08	123,7	123,8	123,9
Свекла	$y = 268 / (1 + e^{-0,181t})$	0,80	16,1	0,027	-4,02	265,1	265,6	266,0
Морковь	$y = 245,5 / (1 + e^{-0,204t})$	0,58	8,4	0,033	-2,90	244,0	244,3	244,5

Все выражения являются значимыми за исключение тренда урожайности моркови. Поэтому они использованы в задаче однопараметрического программирования для определения оптимальных планов. Отметим, что для улучшения качества исходных данных при построении трендов урожайности ячменя и картофеля использована информация за периоды 2006 - 2021 и 2003 - 2021 гг. В таблице 2 приведены расчетные потери урожайности сельскохозяйственных культур как разности фактических двух наименьших значений и уровней тренда временного ряда рассматриваемой характеристики. По данным разностей фактических и аналитических значений шести урожайностей зерновых, овощных культур и картофеля построены законы распределения Пирсона III типа и определены вероятности потерь, соответствующие фактическому и аналитическому уровням урожайности.

Согласно полученным результатам наиболее неблагоприятными были 2015 и 2006 годы. Для определения доходов сельскохозяйственных товаропроизводителей Боханского района в эти годы использованы задача однопараметрического программирования (1) - (6) и линейная модель с вероятностными оценками (7) - (12).

Следует отметить, что в 2015 и 2006 годах не все сельскохозяйственные культуры характеризовались очень низкой урожайностью. В частности, в 2015 году фактическая урожайность овощных культур и картофеля находилась даже несколько выше плановых значений (таблица 3).

Таблица 2 - Выделенные два наибольших события в многолетних рядах урожайности некоторых сельскохозяйственных культур Боханского района относительно трендов временных рядов

Культура	Год	Урожайность, ц/га	p	Потери относительно усредненного тренда, ц/га	Год	Урожайность, ц/га	p	Потери относительно усредненного тренда, ц/га
Пшеница	2015	12,5	0,0221	-7,1	2006	10,7	0,0417	-6,0
Ячмень	2015	12,4	0,0172	-6,8	2007	10,1	0,124	-2,9
Овес	2006	8,7	0,0386	-10,7	2015	11,8	0,0578	-9,6
Картофель	2006	91,9	0,0123	-46,3	2009	100,0	0,214	-7,8
Свекла	2009	152,8	0,0280	-109,4	2010	159	0,0290	-106,7
Морковь	2009	144,3	0,0324	-98,4	2008	152,2	0,0586	-84,1

Таблица 3 - Оптимальные решения задач параметрического и линейного программирования с вероятностными оценками для растениеводства Боханского района

Показатель	Оптимальные планы						Целевая функция, млн руб.
	Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Свекла	Морковь	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
Ситуация 2006 г. (средняя вероятность потерь зерновых $p_1=0,117$, остальных культур $p_2=0,160$)							
Площади, га	19365,0	6037,0	3920,0	500,0	13,0	10,0	505,64
Урожайность, т/га	1,07	0,99	0,87	9,19	20,94	17,00	
Объемы производства, т	20720,6	5976,6	3410,4	4595,0	272,2	170,0	
Плановая ситуация 2006 г.							
Площади, га	19365,0	6037,0	3920,0	500,0	13,0	10,0	756,76
Урожайности, т/га	1,70	1,19	1,94	9,25	24,22	22,22	
Объемы производства, т	32920,5	7184,0	7604,8	4625,0	314,9	222,2	
Ситуация 2015 г. (средняя вероятность потерь зерновых культур $p_1=0,0324$)							
Площади, га	19365,0	6037,0	3920,0	500,0	13,0	10,0	620,02
Урожайности, т/га	1,25	1,24	1,18	12,23	28,64	28,99	
Объемы производства, т	24206,3	7485,9	4625,6	6115,0	372,3	289,9	
Плановая ситуация 2015 г.							
Площади, га	19365,0	6037,0	3920,0	500,0	13,0	10,0	927,86
Урожайности, т/га	1,99	1,92	2,14	12,14	27,90	27,09	
Объемы производства, т	38536,4	11591,0	8388,8	6070,0	362,7	270,9	
Неблагоприятная ситуация, минимальные урожайности культур (средняя вероятность потерь зерновых культур $p_1=0,0260$, остальных культур $p_2=0,0242$)							
Площади, га	19365,0	6037,0	3920,0	500,0	13,0	10,0	413,72
Урожайности, т/га	0,86	0,99	0,83	5,72	15,28	14,43	
Объемы производства, т	16653,9	5976,6	3253,6	2857,5	198,7	144,3	
Средние значения урожайностей за многолетний период							
Площади, га	19365,0	6037,0	3920,0	500,0	13,0	10,0	767,26
Урожайности, т/га	1,6	1,7	1,5	11,5	24,1	22,0	
Объемы производства, т	31758,6	10021,4	5699,7	5750,0	312,7	219,9	

В этом отношении 2006 год был хуже, поскольку урожайность всех культур находилась ниже плановой. Тем не менее, потери зерновых культур в 2015 превысили аналогичные показатели 2006 года. Так, средняя вероятность потерь зерновых культур

в 2015 составила 0,0324, а в 2006 году - 0,117. Другими словами, более позднее событие наблюдается значительно реже.

В таблице 3 приведены результаты моделирования производства растениеводческой продукции с помощью задач параметрического и линейного программирования для растениеводческой отрасли Боханского района. Наибольшие потери доходов от производства растениеводческой продукции имели место в случае низкой урожайности всех сельскохозяйственных культур по данным за исследованный период. Значение абсолютных потерь составило более 350 млн руб. или 46 % от плана, полученного для средних урожайностей.

Относительные потери для неблагоприятных лет соответствуют величине 33 %. Вместе с тем абсолютные потери продукции оказались более чем на 56 млн руб. выше в 2015 году по сравнению с 2006.

Выводы. Предложен алгоритм оптимизации производства аграрной продукции с вероятностью высоких потерь урожая сельскохозяйственным товаропроизводителем на основе многоуровневых трендовых моделей и задач параметрического и линейного программирования с вероятностными оценками.

Алгоритм реализован согласно данным о производстве растениеводческой продукции в Боханском районе.

Для его использования необходимы временные ряды с числом значений не меньше 20. При этом многоуровневые тренды должны быть значимыми.

Последующая работа состоит в апробации алгоритма для других муниципальных районов, хозяйств, однородных природно-климатических территорий с целью его улучшения и расширения возможностей применения.

Список литературы

1. Асалханов, П.Г. Модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в задачах параметрического программирования / П.Г. Асалханов, Я.М. Иванько, М.Н. Полковская // Вестник ИрГТУ. - 2017. - Т. 21. - № 2(121). - С. 57-66.
2. Барсукова, М.Н. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях / М.Н. Барсукова, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2020. - № 3 (19). - С. 73-85.
3. Беданов М. К. Прогнозирование и планирование развития аграрного сектора экономики : вопросы теории и практики / М. К. Беданов ; Федеральное агентство по образованию Российской Федерации, Российский государственный социальный университет. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 2005. – 288 с.
4. Белякова А.Ю. Модели планирования производства продовольственной продукции в условиях неопределенности / А. Ю. Белякова, Т. С. Бузина // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 4(88). – С. 152-166.
5. Бочков А.В. Специфика анализа и оценок показателей риска редких событий на опасных производственных объектах / А.В. Бочков, В.С. Сафонов. // Научно-технический сборник Вести газовой науки. - 2020. - № 1 (42). - С. 84-95.
6. Дружинин И.П. Долгосрочный прогноз и информация / И.П. Дружинин. – Новосибирск: Наука, 1987. – 255 с.
7. Елохин, В.Р. Об оптимизационных моделях планирования сельскохозяйственного производства / В. Р. Елохин // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2009. – № 3. – С. 137-141.
8. Заляжных В.В. Расширение области применения критерия Ирвина при обнаружении аномальных измерений / В. В. Заляжных // Вестник СибГУТИ. – 2020. – № 2(50). – С. 95-100.
9. Иванько Я.М. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иванько, С.А. Петрова, М.Н. Барсукова, Ю.В. Столопова // Прикладная информатика. – 2021. – Т. 16. - № 6 (96). – С. 131-143.

10. Иваньо Я.М. Модели параметрического программирования, применяемые в аграрном производстве / Я. М. Иваньо, М. Н. Барсукова, С. А. Петрова, В. В. Цыренжапова // Электронный научно-практический журнал «Актуальные вопросы аграрной науки». – 2022. – № 43. – С. 50-60.
11. Иваньо Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков /Я.М. Иваньо, С.А. Петрова //Электронный научно-практический журнал «Актуальные вопросы аграрной науки». - 2022. - № 42. - С. 48-57.
12. Иваньо, Я.М. О некоторых методах математического моделирования в решении задач прогнозирования и планирования производства аграрной продукции / Я. М. Иваньо // Электронный научно-практический журнал «Актуальные вопросы аграрной науки». – 2021. – № 38. – С. 49-57.
13. Иваньо Я.М. О некоторых моделях планирования производства аграрной продукции в условиях биологических рисков / Я. М. Иваньо, И. М. Колокольцева, С.А. Петрова // 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 ГАУ, 2022. – С. 274-284.
14. Иваньо Я.М. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков /Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. - Иркутск, 2015.- 180 с.
15. Изменчивость климата Европы в историческом прошлом /А.Н. Кренке, М.М. Чернавская, Р. Браздил [и др.] – М.: Наука, 1995. – 224 с.
16. Коновалова М.В. Стохастическое линейное программирование. Метод возмущений / М. В. Коновалова // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2012. – № 3-2(41). – С. 11-14.
17. Крицкий С.Н. Гидрологические основы управления речным стоком /С.Н. Крицкий. М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1981. – 256 с.
18. Наумов А. В. Методы и алгоритмы решения задач стохастического линейного программирования с квантильным критерием : диссертация ... доктора физико-математических наук : 05.13.01 / Наумов Андрей Викторович.- Москва, 2012.- 221 с.: ил.
19. Пацала, С.В. Сельское хозяйство России: глобальные позиции, структурные пропорции и тенденции развития / С. В. Пацала, Н. В. Горошко // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2021. – Т. 6, № 1(19). – С. 96-108.
20. Писаренко В.Ф. Оценка вероятности редких экстремальных событий для случая малых выборок, методика и примеры анализа каталога землетрясений /В.Ф. Писаренко, М.В. Родкин, Т.А. Рукавишников //Физика Земли. - 2017. - № 6. – С. 3-17.
21. Соколова, И.В. Математические модели в экономике агропромышленного комплекса / И. В. Соколова. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – 110 с.
22. Холодова М.А. Научные основы методологии планирования и прогнозирования развития аграрного сектора экономики /М.А. Холодова //Инновации в АПК: проблемы и перспективы. - 2020. - № 3 (27). - С. 187-199.
23. Irvin J. O. On a criterion for the rejection of outlying observation / J. O. Irvin // Biometrika. 1925. – V. 17. – Pp. 238-250.

Сведения об авторах

Иваньо Ярослав Михайлович – проректор по цифровой трансформации Иркутского ГАУ, доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 83952237491, e-mail: iasa_econ@rambler.ru)

Колокольцева Ирина Михайловна – аспирант кафедры информатики и математического моделирования. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89025190281, e-mail: 89025190281@yandex.ru).

Петрова Софья Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru).

ЦИФРОВОЕ НОУ-ХАУ ДЛЯ АГРАРИЕВ**Осоргина О. Н.**

ФГБОУ ВО Самарский ГАУ

пгт. Усть-Кинельский, Кинельский р-он, Самарская обл., Россия

Сегодня цифровые технологии охватывают большинство сфер. Исключением не стало и сельское хозяйство. Цифровые технологии позволяют контролировать полный цикл производства сельскохозяйственной продукции – «умные» устройства измеряют и передают параметры почвы, растений, микроклимата и т.д. Все эти данные с датчиков, дронов и другой техники анализируются специальными программами. Мобильные или онлайн-приложения приходят на помощь фермерам и агрономам – чтобы определить благоприятное время для посадки или сбора урожая, рассчитать схему удобрений, спрогнозировать урожай и многое другое. Примерно 70% фермерских хозяйств Европы уже используют «умные» технологии для сельского хозяйства. Отечественные аграрии далеки от таких показателей, но спрос на «цифру» повышается. Также по уровню внедрения IT-решений агропромышленный комплекс отстает от других направлений экономики в России. Среди причин – неготовность инфраструктуры и отсутствие квалифицированных кадров. Кроме того, далеко не у всех аграриев есть деньги на новые технологии. Однако тем, кто останется в стороне от процесса цифровизации бизнеса, грозит потеря конкурентоспособности. Цифровизация необходима, чтобы агропромышленному комплексу России совершить мощный скачок в развитии аграрной сферы.

Ключевые слова: цифровизация, мобильное приложение, сельское хозяйство, дроны, информационные технологии.

DIGITAL KNOW-HOW FOR FARMERS**Osorgina O. N.**

FSBEI HE Samara SAU

Ust-Kinelsky, Kinelsky district, Samara region, Russia

Today, digital technologies cover most areas. Agriculture was no exception. Digital technologies allow you to control the full cycle of agricultural production – "smart" devices measure and transmit parameters of soil, plants, microclimate, etc. All this data from sensors, drones and other equipment is analyzed by special programs. Mobile or online applications come to the aid of farmers and agronomists – to determine a favorable time for planting or harvesting, calculate the scheme of fertilizers, predict the harvest and much more. Approximately 70% of European farms already use "smart" technologies for agriculture. Domestic farmers are far from such indicators, but the demand for the "figure" is increasing. Also, in terms of the level of implementation of IT solutions, the agro-industrial complex lags behind other areas of the economy in Russia. Among the reasons are the unavailability of infrastructure and the lack of qualified personnel. In addition, not all farmers have money for new technologies. However, those who remain aloof from the process of digitalization of business face a loss of competitiveness. Digitalization is necessary for the agro-industrial complex of Russia to make a powerful leap forward.

Key words: digitalization, mobile application, agriculture, drones, information technology.

За последнее десятилетие цифровые технологии вошли практически во все сферы деятельности человека и на ближайшую перспективу определены важнейшим фактором общественного прогресса [3].

На текущий период 58 % аграриев страны подтвердили использование цифровых технологий управления и контроля за работой техники, более 22 % применяют датчики и метеостанции для сбора данных о погоде и прогнозе заболеваний. Но наиболее быстрыми шагами набирает популярность для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий использование дронов и спутников. При этом нужно отметить, что чем больше одновременно применено датчиков, сенсоров и полевых контроллеров подключены в единую сеть, метеостанций и т. д., тем эффективнее, оперативнее и «умнее» становится информационная система, и тем больше полезной информации для сельхозпроизводителя она способна предоставить.

Ключевой задачей цифровой трансформации сельского хозяйства является извлечение ценности из собираемых больших объемов данных о внутренней и внешней среде. Основой для этого являются облачные платформы и решения в области обработки больших объемов данных, а также технологии предиктивной аналитики и системы поддержки принятия решений [7].

Важным направлением в использовании цифровых технологий является разработка баз данных. Функционирование информационных систем без них невозможно. Базы данных представляют собой облачные хранилища, в которых можно производить и облачные вычисления. Облачный сервис обрабатывает данные в режиме реального времени, предоставляет результаты анализа множества факторов и обоснование для последующих действий. Кроме того, «облако» помогает вести учет, дифференцировать элементы технологий по каждому объекту. В результате пользователь может получить информацию об изменениях рыночной цены, многолетние данные по урожайности, погоде, оценить эффект от применения пестицидов. Вся эту информацию можно получать в цифровом виде - электронной карты полей, графиков, диаграмм, таблиц и др.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством является использование информационных систем на базе геоинформационных технологий. Подобные системы позволяют решать следующие задачи:

- информационная поддержка принятия решений;
- планирование агротехнических операций;
- мониторинг агротехнических операций и состояния посевов;
- прогнозирование урожайности культур и оценка потерь;
- планирование, мониторинг и анализ использования техники.

Для решения задач комплексного анализа в сельском хозяйстве используются электронные карты с результатами спутниковых геодезических измерений. Использование таких методов позволяет получать детализированную информацию об обширных территориях (сельскохозяйственное предприятие, административный район и т.д.). Возможность определения конфигурации полей, их ориентировки, площади, направления вспашки, состояния полей на момент съемки и способствует оперативной оценке сельскохозяйственных угодий.

На сегодняшний день существует множество мобильных приложений для помощи агроному. В приложении отображаются поля, которые необходимо осмотреть по расписанию. При осмотре агроном выполняет последовательность простых шагов – делает несколько фотографий, отмечает фазу развития растения и обнаруженные вредные объекты, по необходимости добавляет комментарии. GPS-датчик определяет положение специалиста на поле, и собранные данные автоматически привязываются к данному полю и культуре, помечаются координатами и временем. Данные можно выгружать в документ Excel для анализа, пересылать коллегам, консультантам, производителям и дистрибьюторам средств защиты растений (СЗР).

Примером может послужить сервис ExactFarming разработан «Сколково», им пользуются более 4000 хозяйств в 10 странах мира. Сервис позволяет по средствам загруженных гиперспектральных снимков, полученных при помощи беспилотного летательного аппарата (БЛА), заблаговременно идентифицировать болезни и вредителей культур.

Одна британская компания, использующая технологии спутниковой навигации разработала систему, которая позволяет точно локализовать и идентифицировать заболевания растений, положение вредителей и сорняков на полях. Интегрировав эти данные, они выстраивают схему обработки поля, используя разбрызгиватели со встроенными GPS-приемниками, которые включают подачу пестицидов локализовано.

Таким образом, создание системы информационной поддержки процессов принятия решений на основе ГИС-технологий позволяет повысить общую эффективность сельскохозяйственного производства за счет предоставления актуальной аналитической информации по всему комплексу необходимых параметров для принятия оптимальных и своевременных управленческих решений.

Еще одним цифровым ноу-хау в сельском хозяйстве является применение агро-роботов. Уже сейчас они выполняют широкий спектр работ и стремительно обучаются благодаря искусственному интеллекту. В дальнейшем подобные системы не только полностью заменят на ферме ручной труд, но и будут способны полноценно выполнять работу квалифицированных специалистов, что существенно облегчит работу в сельском хозяйстве.

В качестве примера можно привести робота-пропольщика, который представляет собой автономный дрон на солнечных батареях (рис. 1). Он оснащен легким GPS-трекером и рядом датчиков, перемещаясь по полю, с помощью камеры сканирует побеги, выявляет среди них сорную растительность и опрыскивает ее небольшой дозой гербицидов. Машина может обрабатывать 3 га посевов в день. Машиной можно управлять и настраивать с помощью приложения для смартфона. Благодаря селективному подходу робот способен в 20 раз сократить использование гербицидов в хозяйстве [4].



Рисунок 1 – Робот-пропольщик

В 2022 г. был представлен образ робота для анализа почвы Cognitive Soil Analyzer (рис. 2). Результатом работы Cognitive Soil Analyzer является оптимальная технологическая карта поля, содержащая распределение показателей содержания химических элементов, кислотности, плотности и иных измеряемых параметров по его площади [9].



Рисунок 2 – Робот для анализа почвы Cognitive Soil Analyzer

На рынке можно найти ряд предложений по нестандартному использованию дронов в сельском хозяйстве. Так компания BioCarbon Engineering предложила высаживать деревья с помощью специальных дронов, выстреливающих в почву капсулами с семенами. Данная компания объявила о своих планах сажать до 1 млрд. деревьев в год.

Некоторые цифровые российские технологии аграриями уже активно используются и успешно применяются на практике:

- Агротроник – агрономические сервисы (точное земледелие, позиционирование техники, уборка и обработка почвы, работа ночью на основе видеосистем и т.д.), производитель ГК "Ростсельмаш" [4];

- АгроМон – мобильное приложение и веб-сервис для управления хозяйством. Организация осмотра посевов, планирование сезона, управление полевыми работами, обмен данными с командой, производителями семян, средств защиты растений и дистрибьюторами [2];

- Облачный сервис от ООО "Геомир": история поля для управления сельскохозяйственными предприятиями [8];

- СкайСкаут – единая система управления агрономической службой предприятий сельского хозяйства. Обеспечивает полноту картины состояния культур на основе данных, собранных как вручную, так и автоматически. Помогает принимать решения по хозяйству [10];

- DigitalAgro – платформа, объединяющая решения цифровой агрономии для сельхозпроизводителей, производителей и продавцов удобрений, агрохимии и семян, финансовых институтов и других участников сельскохозяйственной отрасли и позволяющая им эффективно управлять агробизнесом, своевременно принимать решения, снижать риски и увеличивать прозрачность взаимодействия друг с другом [6];

- Агросигнал – платформа и мобильное приложение для эффективной работы всех подразделений предприятий на каждом этапе полевых работ, от планирования севооборота и формирования годового бюджета до мониторинга работы техники и сотрудников и учета готовой продукции. Учет транспортных работ. Ведение оперативных планов и графиков смен, создание индивидуальных и групповых отчетов, привязка информации о перевозимом грузе [1];

- ООО "Кайпос" – производитель систем мониторинга погоды, моделей заболеваний растений, систем оптимизации полива и технологии идентификации вредных объектов [8].

Существенное развитие в последние годы в России получило направление вертикального фермерства, которое предполагает выращивание продукции в закрытых помещениях в ограниченном пространстве (например, в городских условиях) с контролируемой средой и применением современных цифровых технологий – датчиков, сенсоров, фотоники и т.д., часто совмещенных с системами гидро-, аэро и аквапоники, позволяющих автоматизировать производственные процессы. Это направление активно развивают компании GreenBar, "УрбаниЭко", "Местные корни", "Сити-фермер", OverGrower, EVAfarm, "ФИТО", "Алан-ИТ" умные теплицы и др. [7].

Цифровые технологии способствуют снижению экологической нагрузки в сельском хозяйстве, повышают эффективность использования природных ресурсов.

Безусловно, программное обеспечение едва ли способно полностью заменить агрономов. Но его использование поможет значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства.

Цифровизация быстро меняет возможности взаимодействия в рамках бизнес-процессов, в том числе всех участников агропродовольственной системы, всячески сглаживая факторы, препятствующие повышению эффективности производства. Сервисы позволяют получать информацию технического характера, что будет способствовать повышению продуктивности, укреплению невосприимчивости к внешним воздействиям и доступу к рынкам.

Кроме того, мобильные технологии и интернет-сервисы способны обеспечить связь отдельных фермеров с товаропроводящими цепочками. Таким образом, открывается доступ к более качественным семенам и удобрениям, позволяющим существенно нарастить производство и наладить сбыт производимой продукции непосредственно потребителям, минуя посредников. Безусловно, цифровизация агропромышленной системы играет все большую роль в обеспечении продовольственной безопасности и укреплении источников средств к существованию, в особенности в сельских районах.

Список литературы

1. Автоматизация сельского хозяйства и управление агробизнесом / Агросигнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrosignal.com/>
2. АгроМон – мобильное приложение и веб-сервис / Агромон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agromon.ru/>
3. Гончаров Н. Р. Цифровые технологии в защите растений от вредных организмов / Н. Р. Гончаров // Главный агроном. – 2020. – №3. С. 268
4. Двенадцать революционных роботов в сельском хозяйстве / Своё фермерство от 9 февраля 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://svoefermerstvo.ru/>
5. Земледелие на основе данных / DigitalAgro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitalagro.ru/>
6. «История поля» — платформа автоматизации агробизнеса Партнёрский материал / АгроИнвестор от 30 марта 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/>
7. Косогор С. Трансформация сельского хозяйства: цифровые возможности развития / С. Косогор // Системы безопасности. – 2022. – №3. С. 134
8. Обзор цифровых технологий для агропромышленного комплекса: от ГИС до интернета вещей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/>
9. Cognitive Pilot создаст робота для анализа почвы / Роботы и искусственный интеллект [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ya-r.ru/>
10. SkyScout – новый подход к управлению агрослужбой! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrarii.com/>

Сведения об авторе

Осоргина Ольга Николаевна - кандидат биологических наук, доцент кафедры «Землеустройство и лесное дело» агрономического факультета, ФГБОУ ВО Самарский ГАУ (446442, Россия, Самарская область, Кинельский район, пгт. Усть-Кинельский, тел. 89277392025, e-mail: Osorginaon@mail.ru).

СОДЕРЖАНИЕ

Техническое обеспечение производства аграрной продукции

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА НАГРУЗКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МТА ¹ Аносова А.И., ² Болоев П.А., ² Гергенова Т.П.	3
ОБЗОР И АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Боярский М.С., Егоров И.Б., Цэдашиев Ц.В.	7
ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ БУНКЕРНЫХ СЕМЯН ЛЬНА МАСЛИЧНОГО Бричагина А.А., Степанов Н.В., Пальвинский В.В., Моисеев А.В.	14
СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ ¹ Бодякина Т.В., ² Болоев П.А.	20
МЕТОД РЕМОНТА И ШЕРОХОВАТОСТЬ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС Белоусов И.В., Бураева Г.М., Шистеев А.В.	27
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ ТРАКТОРА С РЕЗИНОАРМИРОВАННЫМИ ГУСЕНИЦАМИ Гайнуллин И.А.	32
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ Клёшина В.И., Клёмин Н.Н., Бураев М.К.	36
КИНЕМАТИКА КЛУБНЯ ПРИ СОУДАРЕНИИ С ПРУТКОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ Коваливнич В.Д., Кузьмин А.В.	43
ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ Кузьмин А.В., Аносова А.И.	49
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ЦЕЛЬЮ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ Шистеев А.В., Бураев М.К.	55
АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С УЧЕТОМ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ Хабардин В.Н., Горбунова Т.Л., Шелкунова Н.О.	63
АНАЛИЗ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАКТОРОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА Соколова Д.В., Чубарева М.В.	73

Энергетическое обеспечение производства аграрной продукции

РОЛЬ КОМБИНАТОРНЫХ МЕТОДОВ В ПОДГОТОВКЕ СЕМЕННОГО ФОНДА Бузунова М.Ю., Антропова Д.С., Заборовская А.Э.	79
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И СУШКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ Быкова С.М., Алтухов И.В., Очиров В.Д.	84

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ Клибанова Ю.Ю., Барахтенко Р.Е., Гусаров А.Е.....	90
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ Кудряшев Г. С., Шпак О.Н.....	96
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНОГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ НЕБОЛЬШИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОМЕТРИИ ЛОПАТОК Репецкий О.В., Хоанг Д.К.....	101
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ Рудых А.В.	109
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ДИСБАЛАНСЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ Федоринова Э. С., Якупова М. А., Ермолаев Д. С.	115
ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕПЛОМ ИЗЛУЧЕНИЕМ СЕМЯН КУЛЬТИВИРУЕМЫХ РАСТЕНИЙ В АЭРОПОНИКЕ Федотов В.А.....	121
УРАВНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ ВОДЯННОГО ПОТОКА ОСНОВНОГО ТРУБОПРОВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ Черных А.Г.	127
УРАВНЕНИЕ ИМПУЛЬСА ВОДЯННОГО ПОТОКА ОСНОВНОГО ТРУБОПРОВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ Черных А.Г.....	135
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАБОЧИЕ ЛОПАТКИ ТУРБОМАШИН Репецкий О.В., Нгуен В. М.	144

Цифровая трансформация сельского хозяйства

ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ Асалханов П.Г., Калинин Н.В., Иваньо Я.М.	151
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА СВИНЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОПОТОКА Асалханов П.Г., Беляков В.О., Петрова С.А., Артеменко К.М., Жеребцов А.О., Николаев М.Е., Шварев Н.С., Шишман К.Е.	158
ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ «1С: ПРЕДПРИЯТИЕ» В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ДАННЫХ ОБ АГРАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЗАЦИИ Баймаков А.А., Замараев А.О., Иваньо Я.М.....	165
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ Белякова А.Ю., Бузина Т.С., Иваньо Я.М.....	170
ПРОЕКТНОЕ ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ «ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА» В АГРАРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ Барсукова М.Н., Бендик Н.В., Иваньо Я.М.	177

О НЕКОТОРЫХ МЕЖОТРАСЛЕВЫХ ЗАДАЧАХ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ Иванов Я.М., Полковская М.Н., Федурин Н.И.	184
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ АГРОЛАНДШАФТНЫХ РАЙОНОВ ЛЕСОТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕГИОНА Иванов Я.М., Синицын М.Н., Цыренжапова В.В. ..	193
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ С ВЕРОЯТНОСТЬЮ ВЫСОКИХ ПОТЕРЬ УРОЖАЯ Иванов Я.М., Колокольцева И.М., Петрова С.А.	205
ЦИФРОВОЕ НОУ-ХАУ ДЛЯ АГРАРИЕВ Осоргина О. Н.	214