

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Дмитриев Николай Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 25.08.2022 06:46:55
Уникальный программный ключ:
f7c6227919e4cdbfb4d7b682991f8553b37cafb

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.А. ЕЖЕВСКОГО

М. К. Бураев, А. В. Кузьмин,
С. Н. Шуханов, И. В. Сиряева

ТЕХНИЧЕСКАЯ
ЭКСПЛУАТАЦИЯ
АВТО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА

Монография

ИРКУТСК 2015

УДК 631.3.004 (571.53)

ББК 40.72-082

Б 912

Бураев М. К., Кузьмин А.В., Шуханов С.Н., Сиряева И.В.

Б 912 Производственно-техническая эксплуатация авто-тракторного парка : монография. – Иркутск : Изд-во ИрГАУ, 2015. – 215 с. – ISBN 978-5-91777-092-5

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом ФГБОУ ВПО ИрГАУ (протокол № 001/13 от 29 апреля 2015 г.)

Рецензенты:

А. И. Федотов, заведующий кафедрой автомобильного транспорта ФГБОУ ВПО НИ «Иркутский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор.

П. И. Ильин, заведующий кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и производственного обучения» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», кандидат технических наук, доцент.

Представлены теоретические и экспериментальные исследования производственно-технической эксплуатации (ПТЭ) автотракторного парка. Определены законы распределения и вероятностные модели показателей машиноиспользования, а также условия и количественные показатели сравнительной оценки уровня ПТЭ АТП разных хозяйствующих субъектов.

ISBN 978-5-91777-092-5

УДК 631.3.004 (571.53)

ББК 40.72-082

© Бураев М. К., Кузьмин А.В., Шуханов С.Н., Сиряева И.В., 2015

© Издательство ИрГАУ, 2013

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в практике оценки машин и оборудования начинает находить применение иной подход, основанный на методологии, развитой в рамках теории надежности машин и сложных конструкций. В отличие от детерминированных моделей износа данная методология основана на представлении о том, что остаточный срок службы (ресурс) машины является случайной величиной, которую можно описать только вероятностными моделями. Такая методология расширяет возможности методов оценки и делает их наиболее соответствующими физическим процессам изнашивания и здравому смыслу. В рамках такой методологии можно понять и учесть при расчетах стоимости объекта тот факт, что фактический срок службы может существенно превышать нормативный. При этом установленный в документации срок службы (ресурс) имеет смысл минимального срока эксплуатации (ресурса), в течение которого изготовитель гарантирует нормальную работу с большой вероятностью.

Поскольку срок службы является случайной величиной, для его описания следует использовать вероятностные модели. Вероятность того, что за время объект не достигнет предельного состояния определяют как $P(t) = P\{t \leq T\}$

Функция $P(t)$ показывает, сколько в среднем объектов «доживает» до времени t . Поэтому ее называют «кривой выживаемости». Заданная таким образом кривая выживаемости связана с функцией распределения вероятностей $F(t)$ соотношением: $F(t) =$

1- $P(x)$

Плотность распределения времени до наступления предельного состояния $f(x)$ является производной от функции распределения:
 $f(x) = dF(x)/dx = - dP(x)/dx$

При этом, если отсчет времени ведется от текущего момента x , характеризующего время, до которого объект уже эксплуатировался, то $P(x/x)$ характеризует распределение вероятностей случайной величины - остаточного срока службы. На языке теории вероятностей $P(x/x)$ - условная вероятность того, что остаточный срок службы будет не менее при условии, что объект исправно функционировал до текущего момента - x . Следует различать теоретическое распределение вероятностей и эмпирическое (или выборочное, т. е. построенное по выборочным данным).

В литературе по оценке рыночной стоимости недвижимости, машин и оборудования при обсуждении вопросов, связанных с определением остаточного срока службы, получил распространение термин, заимствованный из теории актуарных расчетов - «кривая выживаемости».

Кривая выживаемости – это график, отображающий количество единиц из данной группы активов, которые остаются функционирующими на некоторый момент времени из прогнозного интервала. Другими словами она характеризует процесс выбытия из эксплуатации объектов по мере достижения ими предельного состояния. Эта кривая представляет собой статистический аналог введенной выше вероятности $P(x)$.

Для описания кривой выживаемости используют различные

законы распределения. К числу наиболее часто используемых в этих целях инструментов относят так называемые кривые выживаемости типа Айова. Они были разработаны в результате исследования эмпирических данных, относящихся к характеристикам сохранивших работоспособность всяких типов машин и оборудования. В дальнейшем они применялись для оценки остаточного срока полезного использования имущества торговых и коммунальных предприятий, электро- водо- и газоснабжения, железных дорог и др.

Наряду с моделями, предложенными в штате Айова, для вероятностного описания срока службы машин, механизмов, сложных технических систем может использоваться также логнормальное распределение, которое наряду с распределением Вейбулла получило широкое применение и развитие в теории надежности технических систем, машин и сложных конструкций.

Для практического использования вероятностных моделей для целей оценки рыночной стоимости главными являются два вопроса:

1. Каким образом, опираясь на доступную информацию, определить параметры кривой выживаемости (параметры распределения срока службы – случайного времени до достижения предельного состояния)?

2. Как определить характеристики остаточного срока службы, если известен возраст объекта и параметры распределения времени до достижения предельного состояния (кривой выживаемости)?

1 Корректирование потребности в запасных частях при

обеспечении работоспособности машин

Основной причиной существования проблемы корректирования потребности запасных элементов машин и оборудования при ремонтно-обслуживающих воздействиях являются неравномерная потеря годности составных частей конструкции в результате изнашивания, поломки и т. д., происходящие в отличных от эталонных условиях эксплуатации [122].

За эталонные условия принята работа базовых моделей машин, имеющих наработку от начала эксплуатации в пределах 50-70 % от нормы до капитального ремонта в умеренном климатическом районе с умеренной агрессивностью окружающей среды [11].

В конструкции машин все заменяющиеся детали называются сменными элементами, а детали, требующиеся систематически в больших количествах, изготавливаемые серийно, в запас – запасными частями [122].

К одной из первых работ, где впервые упоминалось о необходимости обеспечения регламентных работ по технической эксплуатации автотракторной техники запасными элементами, относится вышедшая в 1926 году книга «Автомобильное хозяйство» [2], представляющая рекомендации гаражной комиссии при центральном управлении местного транспорта наркомата путей сообщения и подготовленная коллективом ученых в составе профессоров П. С. Брилинга, А. В. Кузнецова, В. М. Чаплина и др.

В этот период предусматривалось установление норм обеспеченности запасными частями автотракторной техники в зависимо-

сти от размеров предприятия, объемов работ и сроков службы машин.

В начале 50-х годов прошлого столетия в сельском хозяйстве началось массовое поступление конструктивно более сложных и более энергонасыщенных машин нового поколения. Самой известной маркой машин нового поколения был трактор ДТ-54. Количественный рост парка и качественное обновление машин требовали новых организационных форм их ремонта и обеспечения запасными частями. Такой новой технологической основой стала типовая технология ремонта машин в сельском хозяйстве, изданная массовым тиражом в 1949 - 53 гг. в соответствие с которой были разработаны нормы затрат труда на ремонт машин, нормы расхода материалов и запасных частей. Для автомобилей формируется первое «Положение о профилактическом ремонте и обслуживании...», в котором имелись указания о корректировании норм обеспеченности предприятий запасными частями в зависимости от условий эксплуатации и периодичности технического обслуживания.

Тенденция возрастания потребности машин нового поколения в ремонте с применением новейших технологий, а также общественная потребность в сокращении затрат труда, энергии и материалов на ремонтные работы не осталась незамеченной учеными-ремонтниками. Во второй половине 50-х годов профессора И. С. Левитский и А. И. Селиванов заложили основы научной организации специализированного ремонта. В этот же период доктор-инженер Х. Эйхлер [149] проводил научное обоснование специализированного ремонта машин в ГДР. Разработки этих ученых легли

в основу методики расчета ремонтной базы сельскохозяйственной техники и централизованного обеспечения запасными частями автотракторного парка в зависимости от региона использования машин.

В последующие годы рядом отраслевых и учебных институтов проводятся многочисленные исследования по определению влияния различных эксплуатационных факторов на режимы работы агрегатов и систем автотракторной техники, режимы их обслуживания. Были выявлены основные причины дефицита запасных частей и недостатки в обеспечении ими предприятий АПК. Это низкий уровень эксплуатации, технического обслуживания и ремонта техники, функционирования инженерной службы, недостатки в организации работы органов обеспечения АПК, отсутствие обоснованных предложений по корректировке норм расхода запасных частей в различных условиях эксплуатации и сезонности сельскохозяйственного производства.

Корректирование нормативов расхода запасных частей при технической эксплуатации в зависимости от природно-климатических условий впервые предусматривало «Положение...» 1972 года []. Согласно нему территория СССР была разделена на 2 климатические зоны и 3 района:

- центральная зона;
- пустынно-песчаные и высокогорные районы;
- зона холодного климата;
- Крайний Север.

При этом к Крайнему Северу относились районы Якутии и

Магаданской области, ограниченные температурной изотермой минус 35° С.

Корректированию в зависимости от природно-климатических условий подлежали трудоемкость текущего ремонта и нормы межремонтных пробегов. То есть в этом «Положении...» косвенно, через уменьшение норм межремонтных пробегов, впервые вводились зональные поправки к нормам расхода запасных частей.

В дальнейшем при корректировании расхода запасных частей для автомобилей учитываются следующие пять основных факторов [].

1. Категория условий эксплуатации. Корректирование нормативов ТО и ремонта автомобилей в зависимости от условий эксплуатации осуществляется в соответствии с их классификацией, которая включает пять категорий условий эксплуатации. Категория условий эксплуатации автомобилей характеризуется типом дорожного покрытия, типом рельефа местности, по которой пролегает дорога, и условиями движения.

2. Модификация подвижного состава и особенности организации его работы. При формировании нормативов учитывают необходимость их корректирования по типу и модификации (конструктивному назначению: автомобили с прицепами, самосвалы и т.д.) транспортного средства в увязке со спецификой его транспортной деятельности. Модификация подвижного состава и особенности организации его работы в соответствии с «Положением о техническом обслуживании подвижного состава автомобильного транспорта» учитываются коэффициентом, который применяется для кор-

ректирования трудоемкости ТО и ТР (величина коэффициента 1,0 - 1,25), пробега до капитального ремонта (1,00 - 0,75) и расхода запасных частей (1,0 - 1,3).

3. Природно-климатические условия учитываются при определении периодичности ТО, удельной трудоемкости ТР и норм пробега до капитального ремонта. Корректирование по природно-климатическим условиям осуществляется с помощью коэффициента, который соответственно изменяется с учетом агрессивности окружающей среды при определении: периодичности ТО – от 0,72 до 1,0; удельной трудоемкости ТР – от 0,9 до 1,43; при определении пробега до первого капитального ремонта – от 0,63 до 1,1; расхода запасных частей – от 0,9 до 1,54.

4. Пробег с начала эксплуатации (возраст транспортного средства) учитывается при корректировании удельной трудоемкости ТР автомобилей. Корректирование по возрасту в соответствии с Положением выполняется с использованием коэффициента. Для грузовых автомобилей этот коэффициент корректирует трудоемкость, изменяясь от 0,4 (для пробега, составляющего менее 25 % ресурса автомобиля до КР) до 2 и более при пробеге автомобиля, в 1,75 - 2 раза превышающем ресурс до КР. В зависимости от пробега с начала эксплуатации до капитального ремонта изменяется и продолжительность простоя автомобиля на ТО и в ремонте, которая учитывается коэффициентом, изменяющимся в пределах 0,7-1,4. При пробеге автомобиля, превышающем его значение до первого капитального ремонта, величина этого коэффициента принимается равной 1,4.

5. Уровень концентрации подвижного состава. При корректировании нормативов учитываются размеры АТО и разнообразие моделей обслуживаемого парка. Последнее учитывается числом технологически совместимых групп, т.е. групп, требующих для ТО и ТР одинаковых средств обслуживания (постов, оборудования) автомобилей в парке (не менее 25 единиц в группе).

Результирующий коэффициент корректирования получается перемножением соответствующих коэффициентов, при этом он не должен быть меньше 0,5

В работе [] всю совокупность факторов, определяющих потребность в запасных частях, делят на четыре группы:

- Конструктивные;
- Эксплуатационные;
- Технологические;
- Организационные.

Авторы данной работы констатируют, что с ухудшением природно-климатических условий происходит существенное увеличение расхода запчастей. С учетом этого среднегодовой расход запасных элементов на 100 машин для определенных эталонных условий корректируется коэффициентами, учитывающими условия эксплуатации.

$$П_{зч} = \frac{НА}{100} K_n K_1 K_2 K_3,$$

где: N – номенклатурная норма расхода детали, шт. на 100 машин в год;

A – наличный модельный парк, шт.;

K_n – коэффициент, учитывающий отклонение среднегодовой нара-

ботки машины от наработки, заложенной в норму;

K_1, K_2, K_3 – коэффициенты, учитывающие условия эксплуатации, модификацию машины и природно-климатические условия.

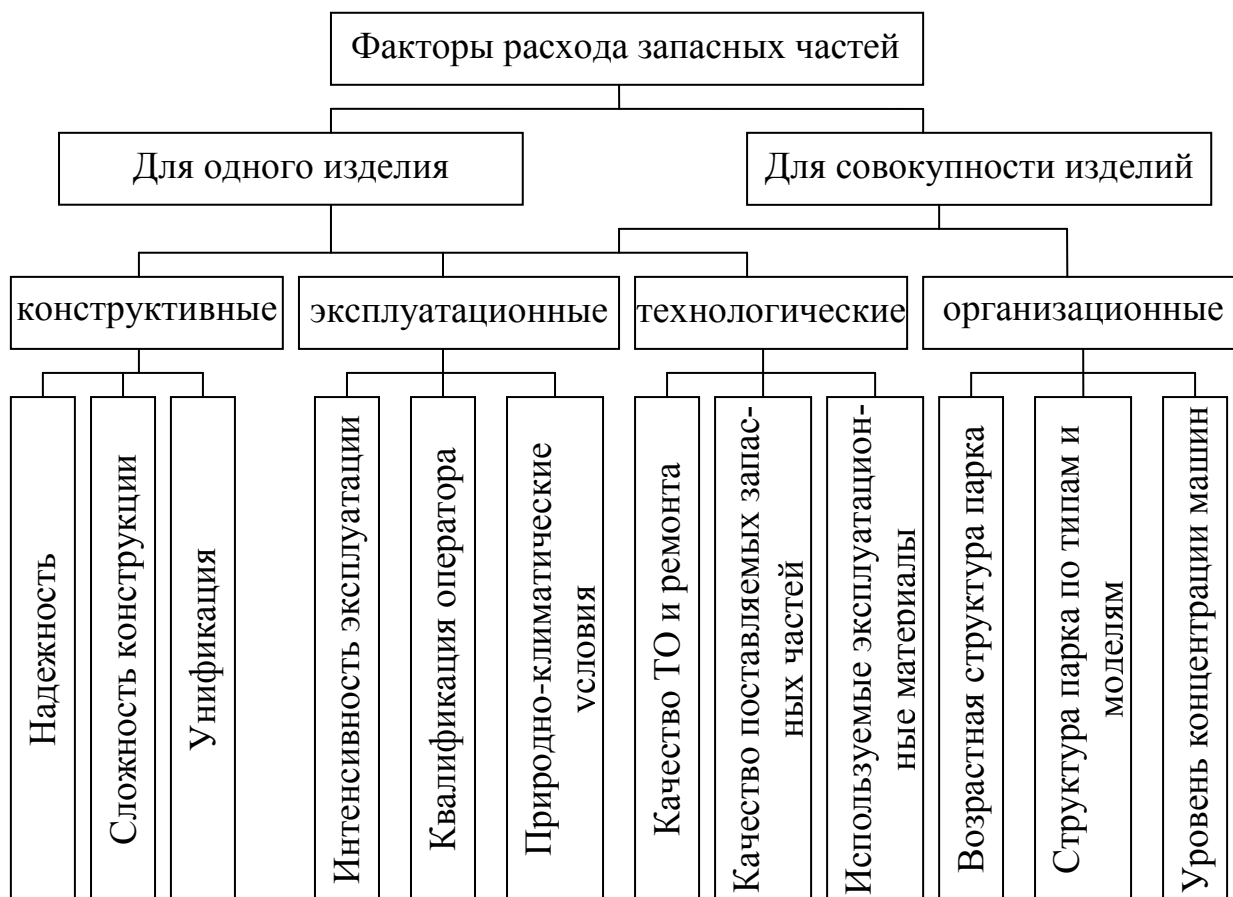


Рисунок 1.1 – Классификация факторов потребности в запасных частях

В ныне принятом «Положении...» [] корректирование норм расхода запасных частей в зависимости от природно-климатических условий предусмотрено. Однако новизна «Положения» 1986 года по рассматриваемому вопросу, к сожалению, выразилась лишь в использовании для классификации климатических условий нового ГОСТа [], а не в разработке принципиально новой

системы корректирования.

Предлагаемые коэффициенты корректирования практически без изменения были перенесены из одних таблиц в другие [].

Другим недостатком существующих и рекомендуемых в литературе [] систем зонального распределения запасных частей является то, что корректирование норм в зависимости от условий эксплуатации предлагается производить по всей номенклатуре с помощью одного коэффициента. Хотя известно, что условия работы различных деталей, узлов и агрегатов автомобиля не однозначны по нагрузкам, стабильности физико-механических свойств материалов, входящих в сопряжение деталей, степени защищенности их от воздействия климатических факторов. Это обстоятельство свидетельствует о принципиальной невозможности получения единых коэффициентов корректирования норм по всей номенклатуре деталей автомобиля для различных климатических зон. Не лишена этого недостатка и система корректирования норм расхода запасных частей, осуществляемая объединением по производству большегрузных автомобилей КамАЗ. КамАЗом разработано и утверждено приказом министра автомобильной промышленности от 15 августа 1979 года «Временное положение о порядке обеспечения потребителей запасными частями к автомобильной технике Камского объединения по производству автомобилей КамАЗ».

Согласно пункту 3.2 этого документа «Обеспечение предприятий, расположенных в районах Крайнего Севера, должно предусматривать отгрузку годового объема запасных частей в 1-ом квартале планируемого года. При этом организациям «Северо-

Востокзолото», «Якуталмаз», «Якутзолото» и Норильскому горно-металлургическому комбинату выделять ресурсы с учетом коэффициента 2». С 3 октября 1980 года это «Положение» было значительно расширено. Несложный расчет с учетом цен на запасные части и их норм, установленных на 1980 год показывает, что при коэффициенте «2» для поддержания в исправном состоянии 100 автомобилей, за год необходимо тратить запасных частей на сумму около 150 тыс. рублей, что по стоимости равносильно приобретению 10 новых автомобилей КамАЗ.

В то же время, даже с учетом коэффициента «2» простои автомобилей из-за отсутствия запасных частей на Крайнем Севере удваиваются. Об этом говорит анализ причин простоев автомобилей КамАЗ и тракторов МТЗ в опорном грузовом предприятии Ми-навтотранса РСФСР ГАТП-2 (г. Якутск). Эти данные говорят о том, что простои автомобилей из-за отсутствия запасных частей после введения коэффициента 2 остались ещё довольно высокими, даже если учесть, что тут проявили себя чисто организационные причины.

Из общего числа затрат на техническое обслуживание и ремонт машин и оборудования в СХОАО «Белореченское» значительную часть составляют затраты на запасные части и материалы. Они составляют 50 – 80 % заработной платы рабочих. В среднем это составляет для некоторых видов машин и оборудования больше половины всех затрат на их ремонт.

Для поддержания и восстановления работоспособности и ресурса машин и оборудования в процессе эксплуатации на предпри-

ятии действует система нормативов материального обеспечения ремонтных работ. Система предназначена для решения следующих основных задач: определения номенклатуры и количества запасных конструктивных элементов и материалов; транспортировки запасов на предприятие; установления порядка и времени пополнения запасов, мест хранения, порядка обслуживания и учета хранимых запасов; установления порядка выдачи и транспортировки запасов к местам их использования; установления номенклатуры, количества, порядка и методов восстановления в машинах и оборудовании элементов и др.

Наиболее важными вопросами обеспечения машин и оборудования запасными частями и материалами являются порядок, объем и периодичность пополнения запасов. Они должны быть оптимальными. Определенному уровню достаточности запасных частей и материалов должно соответствовать минимальное значение функции затрат.

В качестве критериев оптимизации и ограничений при установлении номенклатуры и количества запасных частей наиболее часто используют вероятность достаточности; допустимое время простоя оборудования в ожидании необходимых для замены запасных частей; коэффициенты готовности и технического использования; функции затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования.

При определении потребности в запасных частях устанавливают номенклатуру и нормативы потребности в запасных частях, агрегатах оборотного фонда и восстановленных деталях. Номен-

клатура и нормативы потребности разрабатываются в основном на стадии подготовки оборудования к серийному производству и периодически уточняются в процессе его эксплуатации по мере накопления информации о надежности оборудования и его элементов, изменения конструкции и освоения технического обслуживания и ремонта с учетом изменений условий и режимов эксплуатации.

При установлении номенклатуры запасных частей учитывают в первую очередь следующие виды затрат и потерь: затраты на изготовление, транспортировку и хранение запасов; ущерб из-за простоев оборудования по причине отсутствия запасных частей; ущерб из-за недоиспользования ресурса долговечности запасных частей; ущерб, обусловленный замораживанием оборотных средств в связи с длительным сроком неиспользования запасов; ущерб, обусловленный списанием неиспользованных запасных частей и др.

Номенклатура запасных частей представляет собой перечень наименований элементов оборудования, составленный в определенной группировке и последовательности и включающий элементы, которые в процессе эксплуатации могут утрачивать свои служебные характеристики вследствие изнашивания, например механического, коррозионного, усталостного, старения, случайных и аварийных повреждений, невозможности восполнения потерь и т. д. Номенклатурный перечень элементов должен содержать следующие сведения: код по классификатору промышленной продукции; другие коды, установленные соответствующими документами; номер по конструкторской документации; наименование по действующей

конструкторской и другой нормативно-технической документации; применимость на одной машине (число одноименных одинаковых элементов); цену по прейскуранту или по данным завода-изготовителя.

Для разработки и уточнения номенклатуры используют полные спецификации деталей и покупных изделий; номенклатуру деталей по аналогам оборудования; информацию о надежности по результатам стендовых, полигонных, ведомственных, межведомственных и государственных испытаний опытных партий оборудования; информацию по фактической замене деталей в процессе технического обслуживания и ремонта. В номенклатуру запасных частей включают элементы, которые в процессе эксплуатации: изнашиваются; могут иметь случайные или аварийные повреждения вследствие перегрузок; могут быть утеряны; могут получить повреждения в процессе разборочно-сборочных работ; имеют остаточный ресурс, меньший, чем послеремонтный ресурс узлов или агрегатов, в которые они входят; унифицированные и оригинальные детали. При этом в номенклатуру запасных частей включают комплектно детали: совместно обработанные, сбалансированные или подобранные по зазору или другому параметру сопряжения; имеющие общее функциональное назначение; детали ремонтных размеров, предназначенные для модернизации; сопрягаемые детали с равными или близкими по среднему значению ресурсами.

В номенклатуру запасных частей рекомендуется включать следующие типовые детали, сборочные единицы и приборы: элементы рабочих органов, участвующие в обработке материалов, ко-

жухи; все быстроизнашивающиеся детали; валы, оси, ступицы, муфты, подвески, фланцы; шестерни, колеса редукторов, шкивы, звездочки, вариаторы, блоки, диски; пружины, подшипники качения и скольжения, корпуса и крышки подшипников; шарниры, цепи, ремни; манжеты, кольца, уплотнения, чехлы, прокладки из разных материалов, стекла смотровые; шланги, трубопроводы; насосы, элементы насосов и помп, фильтры и фильтрующие элементы, форсунки, распылители и их элементы, гидроцилиндры, пневмоцилиндры, клапаны, задвижки, золотники, штуцера, манометры, змеевики; электролампы, провода, предохранители, двигатели, генераторы, тумблеры, магнитные пускатели, контакты, щетки, переключатели, катушки и др.

На расход запасных частей оказывают влияние следующие основные факторы: природные условия; организационно-технические условия эксплуатации, технического обслуживания и ремонта; степень использования оборудования по времени и мощности; надежность оборудования и его заменяемых элементов; техническое состояние оборудования (срок службы, наработка с начала эксплуатации и др.).

Любые изменения влияющих факторов должны быть отражены в изменениях расхода запасных частей.

Нормы расхода запасных частей, агрегатов и восстановленных деталей являются средними величинами ожидаемого расхода запасных частей, необходимого для обеспечения бесперебойной работы оборудования в процессе его эксплуатации. Нормы рассчитывают на определенный период эксплуатации, обычно равный одно-

му календарному году. Нормы потребности в запасных частях, нормы агрегатов оборотного фонда и нормы восстановления деталей разрабатывают в натуральном (овеществленном) и в стоимостном (денежном) выражениях.

МУ СЭВ [] рекомендуют разработку норм расхода запасных частей на новое оборудование осуществлять отдельно на унифицированные и оригинальные элементы оборудования. ГОСТ 2.602-68 рекомендует нормы запасных частей составлять в виде ведомости, содержащей нормы расхода запасных частей на один ремонт одной, десяти или ста единиц оборудования. В ведомости указывают обозначение или номер стандарта на запасную часть, ее наименование, общее количество каждой запасной части в машине; количество запасных частей, необходимых для одного ремонта одной, десяти или ста единиц оборудования. В примечании указывают сведения о поставке запасной части ремонтному предприятию или о необходимости ее изготовления или восстановления на месте.

Нормы расхода запасных частей на унифицированные элементы на каждую i -ю деталепозицию оборудования определяют из соотношения

$$h_i = h_a K_n, \quad (1.1)$$

где: h_a – натуральный норматив на элемент оборудования-аналога; K_n – коэффициент, учитывающий изменения норм расхода элементов из-за отличий технико-экономических параметров и конструкции оборудования или местного изменения условий работы элемента по сравнению с условиями работы в оборудовании-аналоге; эти отличия определяются расчетным путем по соотношению

нагруженности, темпов износа, количества замен при испытаниях; в зависимости от того, в более легких или более тяжелых условиях будут работать элементы нового оборудования, коэффициент K_n будет меньше или больше единицы; при отсутствии таких данных величину коэффициента устанавливают экспертным методом.

Нормы расхода запасных частей на оригинальные элементы устанавливают на основе информации о прогнозируемом среднем ресурсе начального элемента R_H и запасного элемента R_3 ; среднеквадратичных отклонениях соответственно σ_n и σ_3 ; средних полных нормированных ресурсов оборудования до списания L ; средних сроках службы до списания оборудования T и количестве одноименных элементов в оборудовании n .

1.2 Формализация модели отказов и восстановления работоспособности элементов сложных технических систем

Под сложной технической системой будем понимать систему (машину), состоящую из элементов (два и более). Отказ одного из элементов системы приводит к отказу системы в целом.

Рассмотрим последовательность замен некоторого определенного элемента Z данного наименования. Эксплуатация каждого элемента начинается с момента окончания срока службы предыдущего. Первый элемент отработывает время Δt_1 , второй – Δt_2 , третий – Δt_3 и т. д.

Случайная ситуация, сложившаяся в k -м опыте (ситуации) для элемента Z , показана на рисунке 1.1.

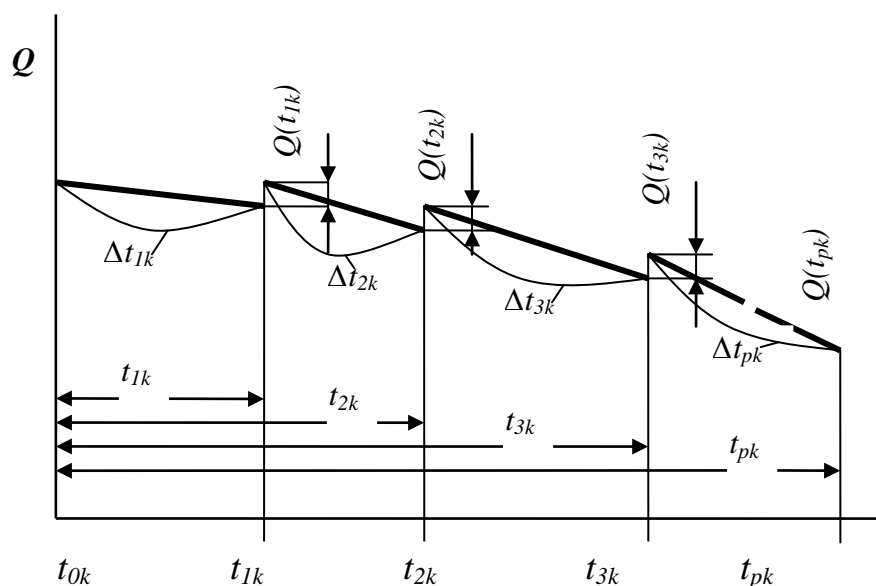


Рисунок 1.2 – Линии реализации случайной ситуации при k -ом опыте в случае мгновенного восстановления работоспособности системы путем замены элемента

На рисунке 1.2 видно, что система начинает свою работу в момент времени $t = 0$ и, отработав случайное время Δt_{1k} , выходит из строя в момент $t_{1k} = \Delta t_{1k}$. В этот момент система мгновенно восстанавливается – (элемент заменяется) и снова работает случайное время Δt_{2k} . По истечении некоторого времени система (элемент) вновь выходит из строя в момент

$$t_{2k} = \Delta t_{1k} + \Delta t_{2k} = t_{1k} + \Delta t_{2k} \quad (1.2)$$

и вновь мгновенно восстанавливается.

Считают, что интервалы времени между отказами Δt_{1k} , Δt_{2k} , ..., Δt_{pk} представляют собой систему взаимно независимых случайных величин с плотностями распределения наработок между отказами $f(\Delta t_1), f(\Delta t_2), f(\Delta t_3), \dots, f(\Delta t_p)$.

Моменты отказов или восстановлений образуют в каждом k -м

опыте (испытании) ряд чисел по следующему правилу

$$t_{1k} = \Delta t_{1k}$$

$$t_{2k} = \Delta t_{1k} + \Delta t_{2k} = t_{1k} + \Delta t_{2k}$$

(1.3)

$$t_{3k} = \Delta t_{1k} + \Delta t_{2k} + \Delta t_{3k} = t_{2k} + \Delta t_{3k}$$

.....

$$t_{pk} = \Delta t_{1k} + \Delta t_{2k} + \dots + \Delta t_{pk} = t_{(p-1)k} + \Delta t_{pk}$$

где t_{ik} – наработка (время работы) элемента до i -го отказа в k -м опыте, мото-ч, $i = 1, p$; $k = 1, N$;

Δt_{ik} – наработка (время работы) элемента между $(i - 1)$ -м и i -м отказами в k -ой реализации, мото-ч, $i = 1, p$; $k = 1, N$.

Числа $t_{1k}, t_{2k}, \dots, t_{pk}$ образуют случайный поток, который согласно теории восстановления называется процессом восстановления. Этот процесс является различным для различных элементов и продолжается до окончания срока службы системы.

Из большого количества различных процессов восстановления для исследования надежности элементов технической системы (как неремонтируемых, так и ремонтируемых) используют три типа процессов:

– простой, при котором все функции распределения наработок до первого и между последующими отказами $F_t(t)$ равны;

– общий, при котором вид функции распределения наработки до первого отказа элемента, установленного в системе заводом-изготовителем, отличается от вида функций распределения наработок элементов при последующих заменах, т. е. $F_1(t) \neq F_i(t)$, $i = 2, 3, 4, \dots$;

– сложный, при котором все функции распределения $F_i(t)$ различны.

Основной характеристикой процесса восстановления является функция восстановления $Q(t)$ и ее дифференциальная характеристика – плотность восстановления, определяемые по следующим формулам

$$Q(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t); \quad (1.4)$$

$$\omega(t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t); \quad (1.5)$$

где $f_n(t)$ и $F_n(t)$ – соответственно плотность и функция распределения наработки до n -го отказа.

В случае независимости наработок между отказами функции распределения $F_n(t)$ наработок до n -го отказа находятся путем последовательного применения правила свертки для суммы двух случайных величин

$$F_n(t) = F_{n-1}(t) \cdot F(\Delta t_n) = \int_0^t F_{n-1}(t - \Delta t) dF(\Delta t); \quad (1.6)$$
$$F_1(t) = F(t).$$

Следует отметить, что сложность получения аналитических выражений для $Q(t)$ и $\omega(t)$ по формулам (4.13), (4.14) состоит в том, что свертка (4.15) лишь для некоторых законов распределения вычисляется в конечном виде. Использование аналитических методов расчета плотности $\omega(t)$ и функции восстановления $Q(t)$ ограничено из-за сложности математической формализации применяемых стратегий восстановления работоспособности технических систем и необходимости учета множества факторов, влияющих на замену элемента в системе. В этих условиях наиболее эффективным мето-

дом расчета $Q(t)$ и $\omega(t)$ является метод Монте-Карло.

Расчет ведущей функции и параметра потока отказов этим методом в случае простого, общего или сложного процессов производится в следующем порядке.

По известным законам распределения наработок элементов с использованием формул преобразования (табл.4.1) моделируются массивы случайных величин Δt_{ik} между $(i-1)$ -м и i -м отказами. Размерность каждого массива равна N .

Далее вычисляются значения наработок до i -го отказа t_{ik} по формулам

$$t_{ik} = t_{(i-1)k} + \Delta t_{ik}; \quad (1.7)$$

$$t_{1k} = \Delta t_{1k}, \quad (1.8)$$

где i – номер отказа, $i = 1, p$;

k – номер реализации при моделировании, $k = 1, N$;

p – максимальное число отказов элемента, получаемое в k -й реализации случайного процесса.

Затем полученные случайные величины наработок t_{ik} группируются по интервалам времени.

Номера интервалов, в которые попадают моменты возникновения отказов $t_{1k}, t_{2k}, \dots, t_{ik}, \dots, t_{pk}$, определяются по формуле

$$\gamma = CEIL\left(\frac{t_{ik}}{\Delta t}\right) \quad (1.9)$$

Параметр и ведущая функция потока отказов в j -м интервале времени определяются по формулам

$$\omega_j(t) = \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij}}{\Delta t \cdot N} = \frac{n_j}{\Delta t \cdot N}; \quad (1.10)$$

$$Q_j(t) = \sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^p n_{ij} = \frac{S_j}{N} \quad (1.11)$$

где n_{ij} – число попаданий случайной наработки до i -го отказа t_{ik} в j -й интервал времени ($j = 1, h$) за N реализаций.

$$n_j = \sum_{i=1}^p n_{ij}; \quad (1.12)$$

$$\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^p n_{ij} = \begin{cases} S_1 = n_1 \\ S_2 = n_1 + n_2 \\ \dots\dots\dots \\ S_h = n_1 + n_2 + \dots + n_j + \dots + n_h \end{cases}, \quad (1.13)$$

2.1 Математическое описание потребности в запасных частях с учетом зональных условий машиноиспользования

Анализ исследований в первой главе показал, что техническая готовность машин, использующихся в сельском хозяйстве, существенно зависит от зональных условий эксплуатации. Коэффициент готовности можно записать по формуле

$$K_g = \frac{1}{1 + \alpha \cdot \sum \tau}, \quad (1.14)$$

где α – коэффициент обслуживания;

$\sum \tau$ – суммарное время простоя машины при устранении отказа, ч.

$$\alpha = \frac{H_c}{H_{mp}}, \quad (1.15)$$

где H_c – средняя наработка машины, мото-ч;

H_{mp} – наработка машины между плановыми ремонтно-обслуживающими воздействиями, мото-ч.

Показатели H_c и H_{mp} для каждой марки машины обычно пла-

нируются. Их воздействие на K_2 постоянно [2], поэтому его значение в основном зависит от величины $\sum \tau$.

Согласно данным [3] простои машин определяются потоком отказов, который по исследованиям [1, 2] имеет прямую зависимость от зональных факторов эксплуатации.

В формуле (1.14) простои $\sum \tau$ можно представить в виде

$$\sum \tau = \tau_o + \tau_p + \tau_3 \quad (1.16)$$

где τ_o - время простоя машины в ожидании ремонта, ч;

τ_p - время простоя машины непосредственно на ремонте, ч;

τ_3 - время простоя машины из-за отсутствия запасных частей, ч.

Запишем в выражении (2.3) простои τ_3 в виде

$$\tau_3 = \sum_{i=1}^n \tau_{3i} \quad (1.17)$$

где τ_{3i} – время простоя автомобиля из-за отсутствия запасной части i -го наименования, ч;

n - номенклатура деталей, ресурс которых прямо или косвенно зависит от зональных условий эксплуатации машин.

С учетом (1.16) и (1.17) формула (1.14) примет вид:

$$K_2 = \frac{1}{1 + \alpha \cdot (\tau_o + \tau_p + \sum_{i=1}^n \tau_{3i})} \quad (1.18)$$

Очевидно, что достижение K_2 максимального значения возможно при

$$(\tau_o + \tau_p + \sum_{i=1}^n \tau_{3i}) \rightarrow \min \quad (1.19)$$

В сельском хозяйстве в эксплуатации находятся в основном автотракторная техника отечественного производства стандартного

исполнения, для которых выполнение условия (1.19) позволяет обеспечить достижение максимального значения технической готовности на интервале наработки между ремонтно-обслуживающими воздействиями. Для парка машин это условие можно записать в виде

$$\tau_n = \sum_{j=1}^N (\tau_o + \tau_p + \sum_{i=1}^n \tau_{zi}) \rightarrow \min \quad (1.20)$$

где τ_n – суммарное время простоя машинного парка, ч;
 N – количество машин, входящих в данный парк, шт.

Примем в первом приближении факторы τ_o и τ_p постоянными. Тогда для достижения теоретически возможного в данных зональных условиях значения технической готовности парка необходимо минимизировать выражение

$$\sum_j^N \sum_{i=1}^n \tau_{zi} \rightarrow \min \quad (1.21)$$

Для выполнения данного условия необходимо увеличить нормы поставок запасных частей номенклатуры n , ресурс которых, как было сказано выше, зависит от зональных условий эксплуатации машин.

Учитывая, что между скоростью изнашивания и ресурсом деталей существует обратно пропорциональная зависимость, запишем

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{l_2}{l_1}, \quad (1.22)$$

где u_1 , и u_2 – интенсивность изнашивания деталей соответственно в стандартных (заводских или средних по стране) и зональных условиях, мкм/тыс. км;

l_1 и l_2 - ресурсы деталей соответственно по заводским рекомендациям (или средним по стране) и в зональных условиях, мото-ч.

Известно [2], что за срок службы R необходимое среднее (стандартное) количество запасных частей определяется из выражения

$$n_1 = \frac{R}{l_1}. \quad (1.22)$$

По аналогии в зональных условиях

$$n_2 = \frac{R}{l_2}. \quad (1.23)$$

Тогда для получения коэффициента корректировки норм запасных частей необходимо сравнить ресурсы

$$k = \frac{n_2}{n_1} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (1.24)$$

В общем виде затраты на запасные части можно записать формулой

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i c_i k_i, \quad (1.25)$$

где m_i – норма расхода детали i -го наименования на 100 машин в год, шт;

c_i – стоимость детали i -го наименования, р;

k_i - коэффициент корректирования норм расхода запасных частей i -го наименования для данных зональных условий эксплуатации.

Аналитическое выражение целевой функции исследования можно представить в виде

$$Q = \frac{1}{100} N \sum_{i=1}^n [m_i c_i k_i + q \tau_p \lambda_i \varphi_i] \rightarrow \min, \quad (1.26)$$

q – средние потери прибыли за один час простоя машины данной

модели, руб/ч;

λ_i – количество одновременно заменяемых деталей i -го наименования, шт;

φ_i – коэффициент, характеризующий степень дефицита i -й детали.

Одним из условий минимизации функции (1.26) может быть, $Q \rightarrow \min$ когда $Q_{ni} = 0$, то есть

$$Q_{ni} = \frac{1}{100} N \cdot q \cdot \tau_3 \cdot \lambda_i \cdot \varphi_i = 0 \quad (1.27)$$

Показатели N , c_i , m_i , λ_i , q_i задаются заранее, неизвестными в формуле (1.26) остаются два показателя κ_i и φ_i .

Степень дефицита запасных частей определяется по формуле

$$\varphi_i = \frac{\Theta_i}{m_i}, \quad (1.28)$$

где Θ_i – фактическая потребность в запасной части i -го наименования.

Чтобы выявить фактическую потребность i -й детали необходимо обеспечить хозяйство запасными частями в объеме

$$m_i \cdot \kappa_i \geq \Theta_i \quad (1.29)$$

1.3 Использование остаточного ресурса деталей при формировании фонда запасных частей

Информацию относительно срока службы или ресурса машины и ее элементов содержит плотность распределения. Математическое ожидание (T), дисперсия (D) и коэффициент вариации (v) случайной величины t (срока службы или ресурса заданных в безразмерном виде) определяются через параметры распределения

$$T = e^{\mu + \sigma^2 / 2} \quad (1.30)$$

$$D = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1) \quad (1.31)$$

$$v = \frac{\sqrt{D}}{T} \quad (1.32)$$

Выполнить в процессе оценки испытания на долговечность объектов, подобных оцениваемому объекту, обычно не представляется возможным. Поэтому для определения параметров распределения следует воспользоваться информацией, доступной оценщику. В качестве такой информации могут использоваться общие сведения относительно объекта оценки и нормативный срок службы, заданный в эксплуатационной документации. Как отмечалось выше, если отсутствуют данные о сроке службе, можно воспользоваться нормами амортизации, которые также несут информацию об оцениваемом объекте.

Анализ литературы показывает, что коэффициент вариации для машин и оборудования лежит в пределах: 0.3 – 0.4. Эта информация позволяет определить параметр распределения -D. Для того, чтобы нормативный срок службы, относящийся к данному объекту, можно было использовать для определения параметров распределения, учтем, что нормативный срок службы представляет собой календарное время, в течение которого объект должен исправно функционировать (более точно, не должен достигнуть своего предельного состояния). По существу, нормативный срок службы указывает минимальное время, в течение которого объект должен эксплуатироваться, если не происходит каких – либо нештатных ситуаций. Таким образом, если предположить, что объект с высокой вероятностью (например, 0.9) должен прослужить в течение заданно-

го срока, то с точки зрения принятой модели нормативный срок представляет собой 10–процентный квантиль распределения. Используя указанную выше информацию и соответствующие допущения, легко рассчитать параметры логнормального распределения и построить кривую выживаемости, характеризующую процесс выбытия оцениваемых объектов за период эксплуатации.

Зададим уровень, он будет представлять собой вероятность того, что объект оценки достигнет предельного состояния до истечения нормативного срока, который в свою очередь определяется интегралом

$$\int_0^1 f(t, \mu, \sigma) dt = a \quad (1.33)$$

Используя данное уравнение (1.33) и соотношения (1.30), (1.31) и (1.32), можно рассчитать значения безразмерного среднего срока службы (T) по заданным значениям ρ и α . Напомним, что безразмерный средний срок службы (T) является величиной, равной отношению среднего значения фактического срока службы к нормативному сроку службы. результаты таких расчетов для различных значений ρ и α представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения безразмерного среднего срока службы (T)

ρ	α		
	0,05	0,1	0,2
0,2	1,419068	1,320486	1,20925
0,3	1,716007	1,540335	1,349859
0,4	2,095936	1,814845	1,521962
0,5	2,58571	2,159766	1,733253

Так же можно рассчитать параметры логнормального распределения, характеризующего вероятностные свойства процесса выбытия

объектов оценки из эксплуатации. На рис. 2 и 3 представлены соответственно плотность распределения сроков службы машин, оборудования и конструкций и кривая выживаемости (иногда ее называют кривой смертности), описывающая процесс выбытия объектов из эксплуатации.

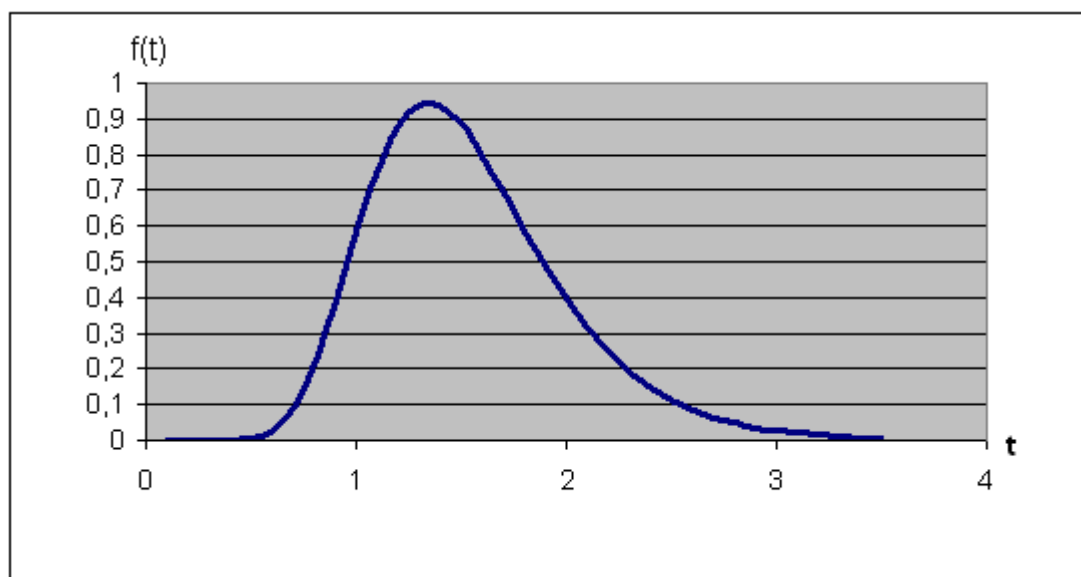


Рис. 2. Плотность распределения срока службы ($\lambda=0.3$, $\mu=0.1$)

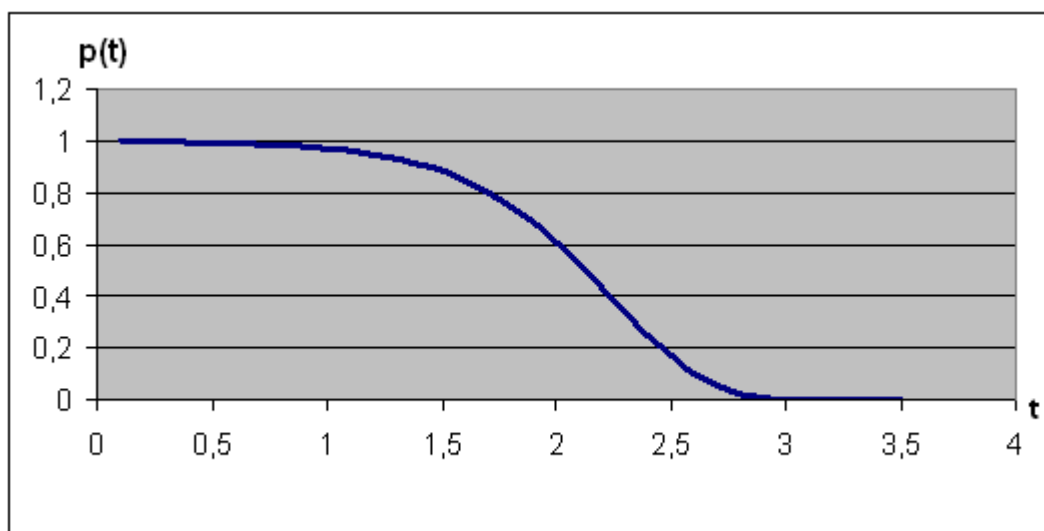


Рис. 3. Кривая выживаемости ($\lambda=0.3$, $\mu=0.1$)

При этом плотность распределения и кривая выживаемости построены, исходя из условий: $\lambda=0.3$, $\mu=0.1$. Основанием для выбора таких исходных данных послужили два обстоятельства:

1. Предельное состояние у механических систем наступает в основном из-за процессов физического изнашивания и усталостного накопления повреждения. Поэтому, опираясь на многочисленные исследования в теории надежности, в качестве коэффициента вариации может быть принята величина, равная 0.3 – 0.4.

2. Нормативный срок (назначенный), указанный в конструкторской или эксплуатационной документации, представляет собой не что иное, как минимально допускаемый срок эксплуатации объекта, в течение которого объект не должен достигать своего предельного состояния. Поскольку, тем не менее, такую возможность нельзя исключать полностью, мы исходим из того, что объект снимается с эксплуатации и списывается не более, чем в 10% случаев. В результате кривая выживаемости характеризует в основном процесс выбытия объектов в период времени после нормативного срока службы. Естественно, что в соответствии с таким предположением средний срок службы объекта, который используется в дальнейших расчетах по оценке, превышает нормативный срок службы, что вполне оправдано с точки зрения реальной картины рынка.

Если объект достиг некоторого возраста, то естественно ожидать, что остаточный срок службы для него несколько уменьшится. При этом, чем выше возраст объекта (при условии одинаковой истории жизни объектов), тем меньше его остаточный срок. Это утверждение отвечает всем известным моделям потери стоимости и здравому смыслу.

В этом случае распределение остаточного срока службы оцениваемого объекта и соответственно кривая выживаемости, характери-

зующая вероятностный процесс выбытия объектов данного класса доживших до данного возраста, могут быть рассчитаны, исходя из условного распределения вероятностей. Условная плотность логарифмически нормального распределения остаточного срока службы, выраженного в относительных единицах, отвечающая условию, что объект дожил до возраста τ , определяется следующим образом:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} e^{-\frac{(\lg t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \dots, t > \frac{\tau}{\tau_n} \\ 0, \dots, t \leq \frac{\tau}{\tau_n} \end{cases} \quad (5)$$

Дальнейшие расчеты и соответствующие графики построены в предположении, что коэффициент вариации $\sigma = 0,3$ и допустимый уровень выбытия объектов из эксплуатации до достижения ими нормативного срока $\mu = 0,1$

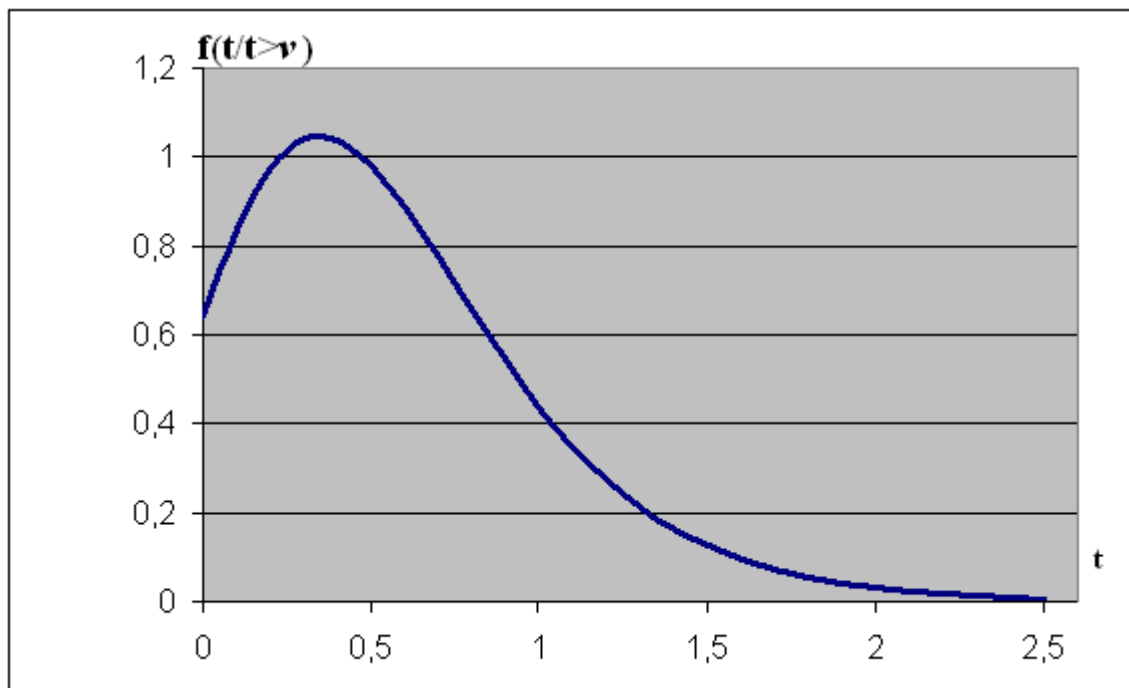


Рис. 4. Условная плотность распределения остаточного срока служ-

бы при условии, что объект эксплуатировался до текущего момента.

Заметим, что α - возраст объекта на момент оценки в относительных единицах, численно равный фактическому времени эксплуатации, деленному на нормативный срок службы:

$$\alpha = t / t_n$$

Зная плотность распределения остаточного срока службы (5), можно определить среднее значение остаточного срока службы T (в относительных единицах) при условии, что объект уже эксплуатировался некоторое время (α). Ниже приводится зависимость среднего значения остаточного срока службы от фактического срока эксплуатации, предшествующего дате оценки. Эта зависимость построена путем статистического моделирования случайных величин, генерируемых упомянутой плотностью распределения, и последующего расчета среднего значения и медианы. Полученные результаты отражают вероятностную природу долговечности машин и более соответствуют реалиям, чем детерминированные модели. В частности, они учитывают, что достижение объектом нормативного срока не означает, что ресурс полностью исчерпан. При параметрах, заложенных в приведенных расчетах, объект, отработавший свой нормативный срок, сохраняет возможность дальнейшей эксплуатации в среднем еще в течение времени до 40% от нормативного срока. Оставшийся срок учитывает заложенный запас по ресурсу машины, поскольку нормативный срок не есть срок полного исчерпания ресурса. Из графика также видно, что с увеличением предшествующего срока эксплуатации среднее значение остаточного срока

службы убывает, и объект, проработавший существенно больше своего нормативного срока службы, ожидает в скором времени достижение предельного состояния.