

УДК 631.12

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ ТРЕБОВАНИЙ НА ОБСЛУЖИВАНИЕ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА

Чепурина Екатерина Леонидовна

д.т.н., доцент

SPIN-код: 4081-2992

<https://orcid.org/0000-0002-1844-9119>

chepurina@rgau-msha.ru

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация*

Чепурин Александр Васильевич

к.т.н., доцент

SPIN-код: 9893-4966 <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>

av.tchepurin@rgau-msha.ru

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация*

Кушнарева Дарья Леонидовна

к.т.н.

SPIN-код: 1253-7173

<https://orcid.org/0000-0002-2653-4938>

d.kushnareva@rgau-msha.ru

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация*

Крючков Виталий Алексеевич

к.т.н.

SPIN-код: 7704-0850

<https://orcid.org/0000-0002-3453-7397>

v.kryuchkov@rgau-msha.ru

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация*

Дегтярев Никита Иванович

SPIN-код: 2935-4496

<https://orcid.org/0009-0007-3790-6833>

n.degtarev@rgau-msha.ru

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация*

Кукушкина Татьяна Сергеевна

SPIN-код: 7829-0223

<https://orcid.org/0000-0002-7235-9667>

t.kukushkina@rgau-msha.ru

*ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация*

UDC 631.12

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

RESEARCH OF REQUIREMENT FLOWS FOR MAINTENANCE OF LIVESTOCK MACHINERY AND EQUIPMENT

Chepurina Ekaterina Leonidovna

Dr.Sci.Tech., Associate Professor

SPIN: 4081-2992

<https://orcid.org/0000-0002-1844-9119>

chepurina@rgau-msha.ru

*Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian
Federation*

Chepurin Aleksandr Vasilievich

Cand.Tech.Sci., Associate Professor

SPIN: 9893-4966

<https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>

av.tchepurin@rgau-msha.ru

*Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian
Federation*

Kushnareva Daria Leonidovna

Cand.Sci.Tech.

SPIN: 1253-7173

<https://orcid.org/0000-0002-2653-4938>

d.kushnareva@rgau-msha.ru

*Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian
Federation*

Kryuchkov Vitaly Alekseevich

Cand.Tech.Sci., SPIN code: 7704-0850

<https://orcid.org/0000-0002-3453-7397>

v.kryuchkov@rgau-msha.ru

*Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian
Federation*

Degtyarev Nikita Ivanovich

SPIN code: 2935-4496

<https://orcid.org/0009-0007-3790-6833>

n.degtarev@rgau-msha.ru

*Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian
Federation*

Kukushkina Tatyana Sergeevna

SPIN code: 7829-0223

<https://orcid.org/0000-0002-7235-9667>

t.kukushkina@rgau-msha.ru

*Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian
Federation*

В статье рассматривается задача повышения устойчивости технологических процессов кормозаготовки, кормления и доения за счёт обоснования параметров системы технического сервиса машин и оборудования животноводства. Показано, что в реальных условиях эксплуатации наряду с регламентными воздействиями формируется значительная доля внеплановых отказов, вследствие чего поступление заявок в инженерно-техническую службу имеет вероятностный характер и может приводить к образованию очереди. Для количественного описания требований на устранение последствий отказов предложено использовать аппарат теории массового обслуживания и вероятностно-статистическую идентификацию входного потока и параметров обслуживания. На материалах хозяйства ЗАО «Фризское» выполнена обработка годовых данных по отказам и трудоёмкости работ; установлено, что число требований в сутки описывается законом Пуассона, продолжительность обслуживания – экспоненциальным распределением, трудоёмкость – гамма-распределением. Полученные параметры позволяют рассчитывать показатели функционирования обслуживающей системы (загрузку, вероятность ожидания, среднее время простоя) и обосновывать управленческие решения по её производственной мощности. На основе коэффициента загрузки сформулированы практические рекомендации по количеству рабочих постов и резервированию ресурсов в периоды повышенной интенсивности отказов

Ключевые слова: СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА, СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ, ВНЕПЛАНОВЫЙ ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ, ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СЛУЖБА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ЖИВОТНОВОДСТВА, ПОТОКИ ТРЕБОВАНИЙ

This article examines the problem of increasing the resilience of forage harvesting, feeding, and milking processes by substantiating the parameters of a technical service system for livestock machinery and equipment. It is shown that, under real-world operating conditions, along with scheduled maintenance, a significant proportion of unscheduled failures occur. Consequently, the influx of requests to the engineering and technical service is probabilistic and can lead to queues. To quantitatively describe the requirements for eliminating the consequences of failures, it is proposed to use the framework of queuing theory and probabilistic-statistical identification of the input flow and service parameters. Using data from the Frizskoye farm, annual data on failures and labor intensity were processed. It was found that the number of requests per day is described by the Poisson law, the service duration by an exponential distribution, and the labor intensity by a gamma distribution. The obtained parameters allow us to calculate the performance indicators of the service system (utilization, waiting probability, average downtime) and justify management decisions regarding its production capacity. Based on the load factor, practical recommendations were formulated regarding the number of work stations and resource reservation during periods of increased failure rate

Keywords: TECHNICAL SERVICE SYSTEM, TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM, TECHNICAL MAINTENANCE, ROUTINE REPAIRS, UNSCHEDULED ROUTINE REPAIRS, ENGINEERING AND TECHNICAL SERVICE, LIVESTOCK TECHNOLOGY MACHINES AND EQUIPMENT, DEMAND FLOWS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-215-012>

Введение. Поступление в хозяйства новых отечественных и зарубежных образцов техники и модернизация парка технологических машин и оборудования животноводства привели к усложнению задач технического сервиса и обострили ряд организационно-технологических проблем. Возросла разнородность машин по конструктивным решениям, применяемым материалам, системам управления и требованиям к регламентам обслуживания, что повышает нагрузку на инженерно-

<http://ej.kubagro.ru/2026/01/pdf/12.pdf>

техническую службу, запасные части и диагностическую базу. Любые отклонения в работоспособности оборудования, задействованного при заготовке и раздаче кормов, а также в доильных и холодильных операциях, напрямую нарушают непрерывность и ритмичность производственного цикла: увеличиваются простои, ухудшается соблюдение технологических режимов и возрастает риск потерь продукции. Следствием становится рост эксплуатационных затрат, включая дополнительные трудозатраты на внеплановые ремонтно-обслуживающие воздействия, расходы на комплектующие и увеличение косвенных потерь из-за сбоев в технологической цепочке.

Принятые в отрасли системы планово-предупредительного обслуживания и ремонта машин и оборудования животноводства ориентированы преимущественно на регламентные воздействия, задаваемые заводами-изготовителями и нормативно-техническими документами. При этом фактические условия эксплуатации – нестационарность нагрузок, режимов работы, влияния внешней среды, а также человеческий фактор – приводят к тому, что в дополнение к плановым воздействиям формируется значительный массив внезапных и скрытых отказов, требующих внеплановых ремонтно-обслуживающих воздействий. В результате инженерно-технические службы хозяйств функционируют в условиях стохастического (вероятностного) потока требований на обслуживание и ремонт, заметно отличающегося от детерминированных предпосылок традиционных систем ППР.

Особенностью эксплуатации технологического оборудования молочно-товарных ферм и комплексов является жёсткая регламентация времени, допустимого для проведения ремонтно-обслуживающих операций: подавляющая их часть должна выполняться в технологические перерывы, не нарушая установленный режим доения и кормления. Это накладывает дополнительные ограничения на структуру и параметры

системы технического сервиса, требуя от инженерно-технической службы не только обеспечения необходимого уровня безотказности, но и рационального распределения производственных мощностей и ресурсов с учётом вероятностного характера поступления требований.

В существующих подходах к организации технического сервиса в животноводстве недостаточно проработаны вопросы количественного описания потоков требований на обслуживание и ремонт, их распределения по видам работ и уровням сложности, а также параметров системы их обслуживания как системы массового обслуживания. На практике это приводит к тому, что решение задач по определению необходимого количества рабочих постов, численности и структуры инженерно-технического персонала, объёмов запасных частей и обменного фонда агрегатов носит во многом эмпирический характер и не опирается на строгие вероятностно-статистические модели.

Целью исследования является повышение работоспособности машин и оборудования задействованных в технологическом процессе кормозаготовки, кормления и доения и эффективности работы инженерно-технических служб (ИТС) хозяйств молочного направления на основе совершенствования организации их деятельности [8, 9].

Состояние вопроса. Уровень эксплуатационной надёжности машин и оборудования задействованных в технологическом процессе кормозаготовки, кормления и доения в современных условиях эксплуатации оказывается недостаточно высоким, отказы элементов, узлов, агрегатов и систем все равно проявляются. Поддержание стабильного уровня исправности и эффективности применения оборудования должно быть неизбежно обеспечено качественным и своевременным выполнением, как плановых, так и планово-предупредительных профилактических мероприятий по поддержанию машины в работоспособном состоянии [1–10]. Мероприятия предполагают

выполнение операций: ежедневного технического обслуживания (ЕТО) и первого технического обслуживания ТО-1, которые проводятся для всех машин и оборудования, задействованных в технологическом процессе кормозаготовки, кормления и доения. Их значительную часть подвергают техническому обслуживанию ТО-2 и техническому обслуживанию при хранении. Периодичность проведения ТО-1 – через 120–240 ч работы (один раз в 1–2 мес), ТО-2 – 720–1440 ч работы (1–2 раза в год).

При выполнении ЕТО оценка технического состояния оборудования осуществляется преимущественно методом внешнего контроля: обслуживающий оператор проводит осмотр закрепленных за ним машин и агрегатов, проверяет целостность и правильность установки защитных кожухов, надежность крепления сборочных единиц и деталей, а также наличие требуемого уровня смазочного материала в редукторах. По завершении смены выполняется очистка рабочих поверхностей оборудования от эксплуатационных загрязнений.

Объем работ ТО-1 включает операции ЕТО, дополняемые очистными, промывочными, регулировочными и смазочными воздействиями. При проведении ТО-2 реализуется полный перечень операций ЕТО и ТО-1, а также выполняется контроль целостности, правильности сборки и работоспособности всех составных частей и элементов оборудования с оценкой параметров их состояния при отключенном приводе. Выявленные в процессе обслуживания дефекты по возможности устраняются регулировочными операциями, а при невозможности восстановления работоспособности – путем замены отказавших или изношенных элементов. Смазочные работы выполняются в соответствии с эксплуатационной схемой смазывания, прилагаемой к конкретной машине или агрегату.

Периодичность проведения регламентных воздействий, как правило, устанавливается заводом-изготовителем и фиксируется в эксплуатационной документации.

Для основной номенклатуры машин и оборудования, используемых в технологическом процессе производства молочной продукции, предусмотрен, как правило, один вид ремонтного воздействия – текущий ремонт. Для ряда агрегатов, также участвующих в технологическом процессе производства молочной продукции (электропогружные насосы, асинхронные электродвигатели, вакуумные насосы, компрессорные агрегаты холодильных установок, водяные и молочные насосы и др.), регламентированы как текущие, так и капитальные ремонты [10, 11].

Особый режим эксплуатации оборудования животноводческих ферм и комплексов предполагает, чтобы операции по ремонту отказавших агрегатов и деталей выполнялись во время технологических перерывов (не более 2-5 часов), т.е. проведение ремонтных работ по замене изношенных агрегатов и деталей на исправные не должны останавливать технологический процесс производства молочной продукции. Под такие жесткие требования подходит только агрегатный метод ремонта машин и оборудования. Применение такого метода ремонта существенно снижает затраты времени и труда на восстановление работоспособности технологических машин и оборудования. При этом в ИТС формируется обменный фонд запасных частей машин и оборудования задействованных в технологическом процессе производства молочной продукции, как новых, так и отремонтированных собственными силами. Дополнительное снижение себестоимости и стабильности технологического процесса кормозаготовки, кормления и доения возможно с применением методов и средств технического диагностирования для контроля технического состояния технологических машин и оборудования.

Результаты исследований. Эффективное функционирование системы технического сервиса машин и оборудования невозможно обеспечить без заблаговременного обоснования потребности в запасных частях и ресурсах, а также без планирования объёмов ремонтно-обслуживающих воздействий — регламентных технических обслуживаний и текущих ремонтов — с учётом фактической календарной длительности эксплуатации и/или наработки. Вместе с тем в специфических условиях животноводческого производства уровень надёжности техники нередко оказывается недостаточным: отказы отдельных элементов, узлов, агрегатов и систем проявляются даже при соблюдении регламентов вследствие множества переменных и случайных факторов (режимов нагрузки, качества исходных материалов и комплектующих, условий среды, квалификации персонала, организационных ограничений). Это непосредственно влияет на устойчивость технологического процесса и приводит к тому, что поток требований на обслуживание и ремонт приобретает вероятностный характер. В результате к заранее запланированным мероприятиям по предупреждению отказов добавляются внезапные неисправности, возникающие случайным образом, устранение последствий которых может потребовать внепланового привлечения ресурсов и, в отдельных случаях, вынужденной остановки технологической линии производства молочной продукции [9, 11, 12].

Спрогнозировать момент проявления внезапных отказов и поступление требований на их устранение невозможно, также невозможно запланировать трудоемкость устранения последствий отказов. Поэтому необходимо иметь некоторый запас, как производственных мощностей, так и ресурсов для восстановления стабильности технологического процесса производства молочной продукции и необходимой работоспособности вышедшего из строя элемента системы. По результатам оценки технического состояния конкретного элемента или конкретного объекта,

подвергаемого обслуживанию, необходимо проводить операции по профилактическому обслуживанию или ремонтно-восстановительным работам на высоком уровне, чтобы снизить затраты за счет увеличения безотказности технологического процесса производства молочной продукции, а также за счет полноценного использования остаточного ресурса основных агрегатов [9, 13, 14].

Независимо от того, что согласно разработанному графику операции по техническому обслуживанию и текущему ремонту машин и оборудования молочных ферм и комплексов выполняются в периоды технологических перерывов, заранее спрогнозировать момент поступления заявок в инженерно-техническую службу практически невозможно. Даже при выполнении плановых регламентных операций по техническому обслуживанию выявляются скрытые отказы, устранение последствий которых требует проведения внеплановых ремонтных работ.

Трудоёмкость основных и сопутствующих ремонтно-обслуживающих операций в первую очередь определяется квалификацией обслуживающего персонала, степенью отработанности технологии организации и выполнения работ, обеспеченностью контрольно-измерительными приборами, методами и средствами контроля и диагностирования, а также наличием необходимых запасных частей.

Следовательно, поток требований (заявок) в ИТР на проведение плановых операций технического обслуживания и внеплановых текущих ремонтов имеет вероятностный характер. Вероятностным является и объём (трудоёмкость) работ по устранению последствий отказов, что приводит к возможности образования очереди на выполнение ремонтно-обслуживающих операций. Таким образом, рассматриваемую систему организации технического обслуживания и ремонта целесообразно представлять в виде системы массового обслуживания.

Главной и основной характеристикой всей системы технического обслуживания и ремонта прежде всего будет среднее время пребывания объекта на восстановлении, а с другой стороны некоторая часть времени, в течении которого система технического обслуживания и ремонта находится в простое из-за отсутствия заявок (поступивших требований) на устранение отказов, т.к. машины и оборудование технологического процесса производства молочной продукции находятся в работоспособном состоянии.

Здесь вероятностные характеристики позволяют оценить так называемую степень загрузки системы технического обслуживания и ремонта со стороны объекта (узел, агрегат, машина) к которому применяются операции технического обслуживания или ремонта. И чем выше трудоемкость устранения последствий отказа, тем меньше эта часть времени, при котором система технического обслуживания и ремонта находится в принудительном простое, и наоборот. Т.е. постоянно анализируя вероятностные характеристики системы технического обслуживания и ремонта можно получить необходимый оптимум между основными вероятностными характеристиками обслуживающей системы и вероятностным потоком требований на устранение последствий отказов [9, 13, 14].

Для того что бы определить вероятностные характеристики обслуживающей системы и вероятностные потоки требований на устранение последствий отказов необходимо, чтобы соблюдались условия: стабильная интенсивность потока в течении рассматриваемого или планируемого периода; поступление за один раз не более одного требования на устранение последствий отказов; независящее друг от друга и равномерное распределение временных отрезков между поступающими вероятностными потоками требований на устранение последствий отказов,

и образовавшиеся совокупности можно описать с помощью закона распределения Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t},$$

где λ – плотность потока требований, 1/треб.; k – количество требований, поступающих за время t ; $P_k(t)$ – вероятность поступления за время t k -требований.

В условиях животноводческого производства режим работы машин и оборудования, как правило, не является равномерным: нагрузка меняется по сменам и сезонам, а вероятность отказов растёт по мере накопления наработки до момента t . Поэтому для одной конкретной машины (или агрегата) напрямую принять, что поток заявок на ремонт является пуассоновским, затруднительно – интенсивность отказов фактически изменяется и зависит от износа и наработки. Однако в реальной организации обслуживания ЗАО «Фризское» поступающие требования формируются не из одного источника, а как результат нескольких независимых направлений: разные типы оборудования, разные узлы, различные виды отказов и работ по устранению последствий. При одновременном поступлении нескольких стационарных и ординарных потоков с последствием (влияние ремонтных работ и устранения последствий отказов) их суммарный поток при выполнении принятых ограничений может рассматриваться как пуассоновский [9, 13, 14]. Практическая ценность такого допущения состоит в том, что при объединении четырех–пяти отдельных потоков требований суммарный поток становится достаточно «стабильным» для инженерных расчётов: его можно принимать как простейший и применять стандартные модели для оценки очереди, времени ожидания и требуемого числа постов обслуживания. Это допущение далее используется для перехода от

статистического описания отказов к расчету показателей системы обслуживания: по интенсивности поступления требований

Это допущение далее используется для перехода от статистического описания отказов к расчету показателей системы обслуживания: по интенсивности поступления требований λ и средней длительности обслуживания $t_{обс,ср}$ определяется коэффициент загрузки ρ , а затем обосновывается управленческое решение по необходимому количеству рабочих постов (ремонтных мест) и распределению ресурсов ремонтной зоны.

Т.е. с учетом полученных и установленных ограничений рассматриваемый вероятностный поток требований на устранение последствий отказов машин и оборудования, задействованных в процессе производства молочной продукции на исполнение в инженерно-техническую службу, следует принять пуассоновским.

Следует учитывать, что при формировании вероятностного (пуассоновского) потока заявок функционирование системы технического обслуживания и ремонта существенно усложняется: возрастает риск неравномерной загрузки, появления очередей и увеличения времени ожидания. В этих условиях расчёт потребных средств обслуживания целесообразно выполнять с резервом по производственной мощности, а также по техническим и кадровым ресурсам, поскольку именно наличие такого резерва обеспечивает стабильное и качественное выполнение регламентных работ и одновременное устранение внеплановых, случайно возникающих требований в различных режимах и условиях эксплуатации [9, 13]. Рассматриваемый режим работы системы ТОиР определяется параметрами входного потока требований (интенсивностью λ), количеством и составом средств обслуживания (рабочих постов, исполнителей, оборудования), их производительностью, а также средней трудоёмкостью (или продолжительностью) обслуживания одной заявки

$t_{обс}$. Совокупное влияние указанных факторов формирует фактическую пропускную способность ремонтной зоны и уровень её загрузки, что позволяет обосновывать требования к резервированию ресурсов и корректировать организацию работ при изменении интенсивности отказов.

Трудоемкостью устранения потока требований будет зависеть от неустойчивой работы применяемых методов и средств выполняемых операций, а также хаотичных и полностью несовместимых (различных по классификации, технологии проведения работ, виду, конструкции и т.д.) предъявляемых и обнаруженных потоков требований к исполнению в инженерно-техническую службу и будет являться случайной величиной, описать распределение этой случайной величины можно с помощью выражения:

$$F(t) = P(t_{обс} < t) ,$$

где $P(t_{обс} < t)$ - вероятность того, что $t_{обс}$ не превосходит некоторой величины времени t .

В процессе эксплуатации технологических машин и оборудования формируется поток заявок (требований) на выполнение операций технического обслуживания и ремонта. Эти заявки поступают в инженерно-техническую службу, где должны быть обработаны и удовлетворены с применением имеющихся методов и средств за минимально возможное время. Специфика функционирования технологических средств в животноводстве приводит к тому, что, с одной стороны, формируется конечное число требований, а с другой — жестко задаются ограничения по срокам начала и завершения необходимых операций.

В связи с этим систему технического обслуживания и ремонта целесообразно рассматривать как замкнутую систему массового обслуживания с ненулевой вероятностью возникновения ожидания.

Изменяющиеся во времени процессы, за которые отвечает данная система, могут быть интерпретированы как совокупность непрерывно перетекающих друг в друга взаимосвязанных состояний. Это, в свою очередь, позволяет описывать случайные события с использованием математической модели процесса обслуживания, упорядочивать входящий поток требований на устранение последствий отказов и представлять его в форме структурной схемы системы технического обслуживания и ремонта [13, 14].

На качество функционирования всей системы технического сервиса ключевое влияние оказывает количество рабочих постов. В зависимости от их числа определяется производственная мощность системы и потребное количество ресурсов для обеспечения обработки входящего потока требований на устранение последствий отказов. При увеличении числа рабочих постов сокращается среднее время ликвидации последствий отказов за счёт возможности параллельного выполнения нескольких одновременно поступивших заявок.

Так, при $k = c$ интенсивность входящего (и, соответственно, выходящего) потока требований составляет $c\mu$. Если же $k < c$, то интенсивность входящего (и выходящего) потока равна $k\mu < \mu c$, поскольку часть рабочих постов остаётся незадействованной. Совокупную работу нескольких рабочих постов, параллельно устраняющих последствия отказов, можно рассматривать как работу одного «эквивалентного» поста, быстроедействие которого возрастает пропорционально числу одновременно обслуживаемых требований: в n раз при наличии в системе n требований.

Принимая, таким образом, что $\lambda = \lambda_k$, а для интенсивности обслуживания выполняются соотношения $\mu_k = k\mu$ при $k < c$ и $\mu_k = c\mu$ при $k \geq c$, для конкретного набора технологических машин и оборудования, включающего N объектов обслуживания, можно определить следующие

составляющие параметры системы технического обслуживания и ремонта [9, 13, 14].

– интенсивность входного потока или среднее число поступающих потоков требований на устранение последствий отказов в единицу времени

–

$$\lambda_k = \begin{cases} (N - k), & 0 \leq k \leq N \\ 0, & k \geq N. \end{cases}$$

– интенсивность выходного потока или среднее число удовлетворенных потоков требований на устранение последствий отказов в единицу времени –

$$\mu_k = \begin{cases} k\mu, & 0 \leq k \leq c \\ c\mu, & c \leq k \leq N \\ 0, & k \geq N, \end{cases}$$

– вероятность реализации n случайных событий в интервале времени, равном t –

$$P_k = \begin{cases} \binom{N}{k} \rho^k P_0, & 0 \leq k \leq c \\ \binom{N}{k} \frac{k! \rho^k}{c! c^{k-c}} P_0, & c \leq k \leq N, \end{cases}$$

$$P_0 = \left\{ \sum_{k=0}^c \binom{N}{k} \rho^k + \sum_{k=c+1}^N \binom{N}{k} \frac{k! \rho^k}{c! c^{k-c}} \right\};$$

где c – среднее число простаивающих рабочих постов из-за отсутствия потоков требований на устранение последствий отказов; ρ – коэффициент загрузки технического обслуживания и ремонта:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}.$$

– среднее число технологических машин и оборудования, ожидающих устранения последствий отказов –

$$L_N = N - \left(1 - \frac{1}{\rho}\right)(1 - P_0);$$

– среднее число технологических машин и оборудования, находящихся в системе технического обслуживания и ремонта –

$$L_N = N - \frac{1 - P_0}{\rho} ;$$

– среднюю продолжительность пребывания технологических машин и оборудования в системе технического обслуживания и ремонта –

$$W_s = W_g + \frac{1}{\mu} ,$$

где W_g – средняя продолжительность пребывания технологических машин и оборудования в очереди ожидания ремонтно-обслуживающих воздействий.

Среднее время простоя технологических машин и оборудования из-за ожидания ремонтно-обслуживающих воздействий определяется в соответствии с [9, 13, 14], по выражению:

$$W_g = \frac{P_3}{\mu(c - \rho)} ,$$

где P_3 – вероятность того, что в момент наступления отказа все рабочие посты по устранению последствий отказов заняты.

Эффективная частота поступления потоков требований на устранение последствий отказов, т.е. количество потоков требований, действительно принятых в работу, в единицу времени:

$$\lambda_{эфф} = \mu(L_s - L_g) ,$$

Установлено (таблица 1), что поток требований на устранение последствий отказов от парка технологических машин и оборудования задействованных в производственном процессе производства молочной продукции подчиняется закону Пуассона и, рассчитав его основные входные и выходные параметры, имеем возможность также рассчитать количество рабочих постов и численность квалифицированного персонала ремонтных объектов инженерно-технической службы.

Связь вероятностных характеристик с управленческими решениями для ЗАО «Фризское». Рассчитанные входные параметры потока требований (λ) и параметры обслуживания (μ , $\bar{t}_{обс}$) позволяют перейти от статистического описания отказов к обоснованию производственной мощности инженерно-технической службы, прежде всего – числа рабочих постов c .

В качестве интегрального критерия используется коэффициент загрузки ρ (формула на стр. 13), характеризующий долю времени занятости рабочих постов. При приведении параметров к суточному фонду времени ремонтно-обслуживающих работ T (ч/сут) коэффициент загрузки может быть записан в виде:

$$\rho = \frac{\lambda}{(c \cdot \mu \cdot T)} = \frac{\lambda \cdot \bar{t}_{обс}}{c \cdot T}$$

Для ЗАО «Фризское» по данным табл. 1 $\lambda = 7,4$ треб./сут, средняя продолжительность обслуживания одного требования $t_{обс} = 1,0$ ч, откуда при односменном фонде времени $T = 8$ ч/сут получаем: $\rho_{(c1)} = 0,93$; $\rho_{(c2)} = 0,46$.

Таким образом, при одном рабочем poste система технического сервиса функционирует в режиме, близком к насыщению ($\rho \rightarrow 1$), что повышает вероятность занятости всех постов (P_3), вызывает образование очереди и рост простоев оборудования в критические интервалы технологических перерывов. С учетом требований к восстановлению работоспособности в ограниченные периоды между доениями и кормлением целесообразно принимать не менее двух рабочих постов ($c=2$) как базовую конфигурацию ИТС ЗАО «Фризское».

При фактическом сокращении доступного фонда времени до $T=5$ ч/сут (выполнение работ только в технологические перерывы) значение ρ для двух постов составляет $\rho \approx 0,62-0,74$ (при $T=5$ ч/сут: $\rho = 7,4 \cdot 1,0 / (2 \cdot 5) = 0,74$), что соответствует допустимому уровню загрузки при наличии резерва мощности; в периоды сезонных пиков и при массовых

отказах рекомендуется предусматривать возможность оперативного усиления до трех постов (при $T=5$ ч/сут: $\rho_{(c=3)}=7,4 \cdot 1,0 / (3 \cdot 5)=0,49$) второй сменой, мобильным постом либо привлечением подрядной организации.

Дополнительно, исходя из средней трудоемкости одного требования 2,4 чел.-ч (табл. 1), суммарная суточная трудоемкость устранения отказов составляет порядка $7,4 \cdot 2,4=17,8$ чел.-ч, что подтверждает необходимость укомплектования двух постов квалифицированным персоналом с резервом для параллельного выполнения работ.

Проведенные испытания в условиях обычной эксплуатации технологических машин и оборудования животноводства в течении длительного времени выявили, что независимо от разработанного и утвержденного графика планово-предупредительных мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности машин и оборудования задействованных в технологическом процессе производства молочной продукции они имеют существенные отклонения от времени поступления потоков требований на устранение последствий отказов, увеличения трудоемкости и времени затраченного на проведение ремонтно-обслуживающих работ, что также как и устранение скрытых и внезапных отказов, которые носят вероятностный характер формирования потоков требований [13, 15, 16].

Таблица 1 – Законы распределения по результатам обработки требований

Наименование показателей и периодов года	Значения показателей								
	среднее арифмети- ческое	дисперсия	среднее квадра- тическое отклонение	коэффициенты			значение критериев согласия		закон распреде- ления
				асиммет- рии	эксцес- са	вариации	Пирсона	Колмого- рова	
Количество требований в день, 1/день	7,4	9,2	6,5	4,0	6,5	1,14	70,8	23,0	Пуассона
Средняя трудоемкость обслу- живания 1-го требования, чел.-ч	2,4	52,5	6,1	1,1	0,4	0,72	107,2	1,9	Гамма- распре- деление
Средняя продолжительность обслуживания одного требования, ч	1,0	9,0	6,8	1,8	4,1	0,69	213,8	3,1	Экспонен- циальный

Анализ поступивших потоков требований на устранение последствий отказов проводился за период, в течении которого весь парк технологических машин и оборудования задействованных в производственном процессе производства молочной продукции выполнил полный цикл, включая основные сельскохозяйственные работы по обеспечению животноводства – календарный год. А т.к., поступающие в инженерно-техническую службу потоки требований на устранение последствий отказов технологических машин и оборудования носят вероятностный характер и возникают случайные периоды роста интенсивности подачи потоков требований, то выявляется вероятность образования очереди на устранение последствий отказов. Следовательно, при разработке графика планово-предупредительных мероприятий необходимо вносить коррективы с учетом специфических условий и режимов эксплуатации технологических машин и оборудования, оказывающих влияние на возникновение внезапных отказов, которые с долей вероятности проявятся во время выполнения производственного процесса, а заключительную корректировку выполнять по результатам технико-экономической оценки [16, 17, 18, 20, 21].

Проведенный сбор и анализ поступивших потоков требований на устранение последствий отказов в ЗАО «Фризское» Коломенского района Московской области дает возможность рассчитать виды и объемы работ по техническому сервису технологических машин и оборудования задействованных в производственном процессе производства молочной продукции (рисунок 1).

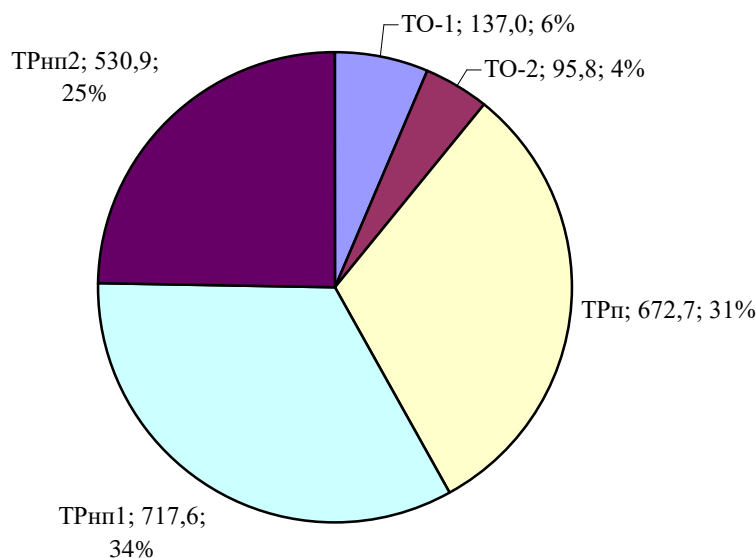


Рисунок 1 – Структура трудозатрат на технический сервис технологических машин и оборудования ЗАО «Фризское» Коломенского района

ЗАО «Фризское» применяет в основном импортное технологическое оборудование молочно-товарного комплекса на 480 голов дойного стада, установленного в хозяйстве в 2005–2007гг. Отдельно стоит отметить, что нужно обратить внимание на структуру выполняемых работ по техническому сервису. Т.к. большой объем основных выполняемых работ занимают не плановые текущие ремонты из-за большой наработки оборудования. Основной объем работ приходится на неплановые текущие ремонты. Устранение последствий отказов, как наиболее часто проявляющихся первой и второй групп сложности составляет около 60 % или 1250 чел.-ч, что свидетельствует об острой необходимости замены устаревшего морально и физически парка технологических машин и оборудования на новое оборудование, а также совершенствование организации их технического сервиса [15, 19, 20, 22]. Полученные значения видов и объемов работ подтверждаются фактической загрузкой персонала ИТС хозяйства по поддержанию и восстановлению

работоспособности технологических машин и оборудования задействованных в производственном процессе производства молочной продукции.

Выводы и предложения.

1. Особого внимания в исследуемом хозяйстве ЗАО «Фризское» удостоена организация технического сервиса, т.е. устранение последствий отказов технологических машин и оборудования задействованных в производственном процессе производства молочной продукции. Однако, встречаются случаи низкого качества проведенных работ или не соблюдения сроков выполнения работ, особенно не значимых профилактических работ по техническому сервису.

2. Эффективная организация технического сервиса технологических машин и оборудования задействованных в производственном процессе производства молочной продукции должна базироваться на высокоточном обосновании параметров вероятностных потоков требований на устранение последствий отказов, учитывать их интенсивность и вероятностный характер.

3. Расчет коэффициента загрузки системы обслуживания (ρ) для ЗАО «Фризское» при среднем поступлении 7,4 требований/сут и средней продолжительности обслуживания 1,0 ч показывает, что один рабочий пост работает в режиме, близком к насыщению ($\rho=0,93$ при $T=8$ ч/сут). Рекомендуемое количество рабочих постов – не менее двух ($c=2$), а при выполнении работ только в технологические перерывы и в периоды повышенной интенсивности отказов следует предусматривать возможность временного усиления до трех постов.

Литература

1. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания машин и оборудования животноводства (система ППРТОЖ). - М., 1988. - 144 с.
2. ГОСТ 24466-80. Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для животноводства и

кормопроизводства Правила технического обслуживания. Общие требования. М. : Изд. стандартов, 1981.

3. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонт техники. Термины и определения.

4. Комплексная система ТО и ремонта машин в сельском хозяйстве. М.: ГОСНИТИ, 1985. – 143 с.

5. Концепция развития технического сервиса животноводства на период до 2020 года. – Подольск: ВНИИМЖ, 2011 г.

6. Исаев, Х.М. Техническое оснащение животноводства в Брянской области / Х.М. Исаев // Сборник научных трудов. – Брянск : БГСХА, 2000. – С. 37-39.

7. Воскобойников, И.В. Техническое обслуживание и ремонт машин за рубежом: Обзорная информация / И.В. Воскобойников, А.Г. Яловенко. – М.: АВНИПИЭИлеспром, 1985. – 60 с.

8. Чепурина, Е. Л. Проблемы и направления повышения качества молока / Е. Л. Чепурина // Международный технико-экономический журнал. – 2012. – № 3. – С. 89-94.

9. Модернизация системы технического сервиса аграрно-промышленного комплекса / Л. И. Кушнарев, Е. Л. Чепурина, С. Л. Кушнарев [и др.]. – Москва : Редакция журнала "Механизация и электрификация сельского хозяйства", 2015. – 440 с. – EDN YNSQCB.

10. Эксплуатация технологического оборудования ферм и комплексов./Под редакцией Мельникова С.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986.

11. Ковалев Л.И. Основы организации технического сервиса машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов / Л.И. Ковалев. - Минск: БГАТУ, 2011. - 136 с., ил.

12. Дорофеев А., Пуцын Н. Сервис как основа здоровья и работоспособности. – Журнал «Сельскохозяйственные вести» №1, 2010.

13. Чепурина, Е. Л. Организация инженерно-технической службы в молочном животноводстве / Е. Л. Чепурина, А. В. Чепурин, Д. Л. Севостьянова // Лучшая научно-исследовательская работа 2017 : Сборник статей X Международного научно-практического конкурса, Пенза, 30 сентября 2017 года / Под общей редакцией Г.Ю. Гуляева. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 23-29.

14. Чепурина, Е. Л. Повышение безотказности машин и оборудования в животноводстве / Е. Л. Чепурина, Д. Л. Севостьянова // Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 18 апреля 2018 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2018. – С. 162-167.

15. Чепурина, Е. Л. Проблемы технологической модернизации системы технического сервиса машин и оборудования АПК / Е. Л. Чепурина, С. Л. Кушнарев, А. В. Чепурин // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск, 15–17 октября 2015 года. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2015. – С. 297-305.

16. Чепурина, Е. Л. Технический сервис машин и оборудования животноводства: состояние и перспективы его организации / Е. Л. Чепурина, А. В. Чепурин, Д. Л. Кушнарёва // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 49-55. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-6-49-55.

17. Kushnarev L.I. 'Improving the competitive abilities of mechanical engineering'. Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2018. Journal of Physics: Conference Series. jpcs@iopublishing.org

18. Кушнарев, Л. И. Состояние и направления инновационного развития инженерно-технической службы АПК / Л. И. Кушнарев, О. Н. Дидманидзе // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 1. – С. 31-40.
19. Kovalev, L. I. Analysis of maintenance and repair systems in livestock production / L. I. Kovalev, I. L. Kovalev // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. – 2015. – No. 4(40). – P. 29-37. – EDN UMLEQL.
20. Голубев И.Г., Быков В.В., Митракова В.Д., Ермолин Н.В. Организация и развитие фирменного технического сервиса машин и оборудования для АПК. Москва, 2000.
21. Морозов, Н. М. Экономическая оценка современного уровня технического оснащения животноводства / Н. М. Морозов, И. И. Хусаинов // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – 2011. – Т. 22, № 1(1). – С. 164-179. – EDN MHCVLH.
22. Чепурина, Е. Л. К вопросу оптимизации срока службы машин и оборудования / Е. Л. Чепурина, Д. Л. Кушнарёва // Доклады ТСХА : Сборник статей, Москва, 01 января – 31 2015 года. Том Выпуск 288, Часть IV. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – С. 269-272. –

References

1. Sistema planovo-predupreditel'nogo remonta i tehničeskogo obsluzhivanija mashin i oborudovanija zhivotnovodstva (sistema PPRT0Zh). - M., 1988. - 144 s.
2. GOST 24466-80. Sistema tehničeskogo obsluzhivanija i remonta sel'skohozjajstvennoj tehniki. Mashiny i oborudovanie dlja zhivotnovodstva i kormoproizvodstva Pravila tehničeskogo obsluzhivanija. Obshhie trebovanija. M. : Izd. standartov, 1981.
3. GOST 18322-78. Sistema tehničeskogo obsluzhivanija i remont tehniki. Terminy i opredelenija.
4. Kompleksnaja sistema TO i remonta mashin v sel'skom hozjajstve. M.: GOSNITI, 1985. – 143 s.
5. Konceptcija razvitija tehničeskogo servisa zhivotnovodstva na period do 2020 goda. – Podol'sk: VNIIMZh, 2011 g.
6. Isaev, H.M. Tehničeskoe osnashhenie zhivotnovodstva v Brjanskoj oblasti / H.M. Isaev // Sbornik nauchnyh trudov. – Brjansk : BGSMA, 2000. – S. 37-39.
7. Voskoboynikov, I.V. Tehničeskoe obsluzhivanie i remont mashin za rubezhom: Obzornaja informacija / I.V. Voskoboynikov, A.G. Jalovenko. – M.: AVNIPIJellesprom, 1985. – 60 s.
8. Chepurina E.L. Problemy i napravlenija povyšeniya kachestva moloka. Mezhdunarodnyj tehniko-jekonomičeskij zhurnal. – № 3 – 2012. S. 89-94.
9. Kushnarev L.I. i dr. Modernizacija sistemy tehničeskogo servisa agropromyšlennogo kompleksa / Monografija. /Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Kushnarev S.L., Chepurin A.V., Korneev V.M./Pod redakciej L.I. Kushnareva. M.: MJeSH. – 2015. – 440 s.
10. Jekspluatacija tehnologičeskogo oborudovanija ferm i kompleksov./Pod redakciej Mel'nikova S.V. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Agropromizdat, 1986.
11. Kovalev L.I. Osnovy organizacii tehničeskogo servisa mashin i oborudovanija zhivotnovodčeskich ferm i kompleksov / L.I. Kovalev. - Minsk: BGATU, 2011. - 136 s., il.
12. Dorofeev A., Pucyn N. Servis kak osnova zdorov'ja i rabotosposobnosti. – Zhurnal «Sel'skohozjajstvennye vesti» №1, 2010.
13. Chepurina E.L., Chepurin A.V., Sevost'janova D.L. Organizacija inženerno-tehničeskoi služby v molochnom zhivotnovodstve (stat'ja) V sbornike: Luchshaja nauchno-issledovatel'skaja rabota 2017. Sbornik statej X Mezhdunarodnogo nauchno-praktičeskogo konkursa. Pod obshhej redakciej G.Ju. Guljaeva. – 2017. – S. 40-45.

14. Chepurina E.L., Sevost'janova D.L. Povyshenie bezotkaznosti mashin i oborudovaniya v zhivotnovodstve Nauchno-informacionnoe obespechenie innovacionnogo razvitiya APK. Materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «InformAgro-2017». M.: «Rosinformagroteh». – 2017.
15. Chepurina E.L., Kushnarev S.L., Chepurin A.V. Problemy tehnologicheskoy modernizacii sistemy tehničeskogo servisa mashin i oborudovaniya APK. Sbornik: Inženernoe obespechenie innovacionnyh tehnologij v APK. «Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Rossijskoj Federacii, Upravlenie obrazovaniya i nauki Tambovskoj oblasti, Upravlenie sel'skogo hozjajstva Tambovskoj oblasti, Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – 2015. S. 297-305.
16. Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnareva D.L. Tehničeskij servis mashin i oborudovaniya zhivotnovodstva: sostojanie i perspektivy ego organizacii. Agroinženerija. 2024;26(6):49-55.
17. Kushnarev L.I. 'Improving the competitive abilities of mechanical engineering'. Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2018. Journal of Physics: Conference Series. jpcs@iopublishing.org
18. Kushnarev L.I., Didmanidze O.N. Sostojanie i napravlenija innovacionnogo razvitiya inženerno-tehničeskoy sluzhby APK //Mezhdunarodnyj tehniko-jekonomičeskij zhurnal. –№ 1. – 2014. – S. 31–40.
19. Kovalev, L. I. Analysis of maintenance and repair systems in livestock production / L. I. Kovalev, I. L. Kovalev // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. – 2015. – No. 4(40). – P. 29-37. – EDN UMLEQL.
20. Golubev I.G., Bykov V.V., Mitrakova V.D., Ermolin N.V. Organizacija i razvitie firmennogo tehničeskogo servisa mashin i oborudovaniya dlja APK. Moskva, 2000.
21. Morozov, N. M. Jekonomičeskaja ocenka sovremennogo urovnja tehničeskogo osnashhenija zhivotnovodstva / N. M. Morozov, I. I. Husainov // Nauchnye trudy GNU VNIIMZh Rossel'hozakademii. – 2011. – T. 22, № 1(1). – S. 164-179. – EDN MXCVLH.
22. Chepurina E.L., Kushnareva D.L. K voprosu optimizacii sroka sluzhby mashin i oborudovaniya. Doklady Timirjazevskoj sel'skohozjajstvennoj akademii (sm. v knigah). – №288-4. 2016. – S. 269-272.