В.Н. Курочкин
Е.Н. Кущева
С.Л. Никитченко

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА: ОРГАНИЗАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Монография

Зерноград – 2016

УДК 331.2
К93

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры «Механизация и технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде ***Алексенко Н.П.***

доктор технических наук, главный научный сотрудник, ученый секретарь ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» ***Хлыстунов В.Ф.***

Курочкин, В.Н. Система технического сервиса: организация, математическое моделирование: монография / В.Н. Курочкин, Е.Н. Кущева, С.Л. Никитченко; под науч. ред. проф. В.Н. Курочкина. – ……., 2016. – 173 с.

В монографии изложены научно-методические предпосылки совершенствования организации технического сервиса технологических систем. Уточнены методические положения исследования организационных систем, теории обеспечения эксплуатационной надежности оборудования организационных технологических систем агропромышленного комплекса, приведены результаты теоретических исследований по совершенствованию организации и эффективности технического сервиса. На основе усовершенствованной теории управления надежностью технологических систем получены результаты исследований на примере показателей надежности и эффективности подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования. Экономико-математическое моделирование подтвердило экономическую эффективность результатов исследований.

Монография предназначена для специалистов перерабатывающих отраслей, руководителей инженерных служб сельскохозяйственных предприятий и их объединений, фермеров, предпринимателей, аспирантов, студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 43.03.01 – «Сервис» и профилю «Технический сервис в агропромышленном комплексе».

ISBN 978-5-91833-150-7

© Курочкин В.Н., Кущева Е.Н., Никитченко С.Л. 2016

Оглавление

Введение 5

Глава 1 Системные методы управления организацией технического сервиса …… …… 8
1.1 Основы рассмотрения технологического процесса эксплуатации оборудования в организационных системах……... 8
1.2 Системные методы управления надежностью и эффективностью…. 18
1.3 Принципы разработки организационных структур ……... 22
1.4 Предпосылки решения проблемы обеспечения надежности ….. 33
1.5 Общая методология исследований надежности и эффективности функционирования организационных систем технического сервиса…. 36
1.6 Выводы…….. 47

Глава 2 Теория и практика организационного обеспечения эксплуатационной надежности оборудования организационных и технологических систем…….. 53
2.1 Современные тенденции развития организации технической эксплуатации технологического оборудования……. 53
2.2 Требования к подсистеме обеспечения надежности в связи с усложнением конструкции оборудования……... 57
2.3 Теория и методы управления надежностью и эффективностью функционирования оборудования технологических систем …… 58
2.4 Управление надежностью и эффективностью технологического оборудования за рубежом……. 63
2.5 Выводы……. 65

Глава 3. Математическое моделирование организации технического сервиса технологических систем……. 66
3.1 Применение методов теории марковских процессов для описания системы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования…… 66
3.2 Теоретические аспекты восстановления работоспособности зерноперерабатывающего оборудования…… 68
3.3 Применение методов теории массового обслуживания для математического моделирования подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования…….. 76
3.3.1 Моделирование организации технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования…….. 79
3.3.2 Структура и критерий эффективности функционирования зерноперерабатывающего предприятия…… 85
3.4 Целевая функция для управления надежностью и эффективностью функционирования зерноперерабатывающего оборудования…….. 88

3.5 Выводы…… 91
Глава 4 Математическое моделирование системы управления надежностью технологических систем……. 93
4.1 Технологические системы и модели их надежности……... 93
4.2 Ресурсосберегающая технология управления машинными парками предприятия…… 103
4.3 Организационные аспекты разработки управленческого программного обеспечения для инженеров…….. 110
4.4 Обоснование применения новых информационных технологий управления для ИТС при различных объемах производства…… 113
4.5 Выводы……. 116

Глава 5 Программа и методика исследований надежности и эффективности организации систем технического сервиса…... 118
5.1 Программа экспериментальных исследований……. 118
5.2 Методика проведения «пассивного» эксперимента и обоснование репрезентативной выборки……. 118
5.3 Методика обоснования и выбора типичного района……... 121
5.4 Планирование и методика проведения многофакторного эксперимента……... 123
5.5 Критерии достоверности и адекватности результатов экспериментальных исследований……... 125

Глава 6 Экономико-математическое моделирование организации технического сервиса…….. 129
6.1 Моделирование отдельных производственных показателей технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования…….. 129
6.2 Экономико-математическая модель технического сервиса мельницы А1-АВМ1…….. 136
6.3 Анализ показателей эффективности технического сервиса мельницы А1-АВМ1 с учётом временного фактора…….. 143

Глава 7 Организация технического сервиса 142
7.1 Гибридная система технического сервиса вертикально интегрированных структур 142
7.2 Рекомендации по совершенствованию системы технического сервиса 143

Заключение……... 151
Литература……..... 154
Приложения…….. 165

ВВЕДЕНИЕ

Менеджеры и профессионалы в сфере услуг столкнулись с необходимостью повышения качества сервиса и удовлетворения потребностей клиентов на высоком уровне. Вместе с тем своеобразие услуг: их неосязаемость, несохраняемость, неотделимость от источника, непостоянство качества – создаёт значительные проблемы для менеджеров в сервисной деятельности. Маркетинговая система в данной сфере должна опираться не только на исследование рынка, рекламу, продвижение услуги, но прежде всего на понимание человека, его потребностей и на психологические закономерности их мотивации и удовлетворения, на системный подход к удовлетворению потребностей заказчиков сервиса.

Решение проблемы возможно на системном подходе к организации сервиса организационных и технологических систем. Рассмотрены, в частности, вопросы технического сервиса (ТС) перерабатывающего оборудования (ЗПО), которые в настоящее время достаточно актуальны по причинам недостаточной теоретической проработки и отсутствия соответствующей ремонтно-обслуживающей базы (РОБ) для обслуживания зерноперерабатывающих предприятий (ЗПП). В частности, необходимо исследование надежности функционирования зерноперерабатывающих предприятий, обусловленной режимами и параметрами обслуживающей системы сервиса.

Актуальность исследований подтверждается фактом её выполнения по тематике Российской академии наук и по заказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Необходимы также исследования вопросов оптимизации технологических процессов технической эксплуатации (ТЭ) и разработки организации системы технического сервиса технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий региональных кластеров.

Анализ современных тенденций развития технического сервиса, увеличение зависимости показателей надежности зерноперерабатывающего оборудования в связи с усложнением его конструкции, а также результаты анализа зарубежных исследований в указанной отрасли позволили сделать вывод о необходимости дальнейшей разработки теоретических основ и методик обоснования режимов и параметров системы технического сервиса, так как существующие способы обеспечения надежности функционирования зерноперерабатывающих предприятий несовершенны, и основаны на применении мобильных средств технического обслуживания, причем целостная система технического обслуживания и ремонта отсутствует. Объясняется это тем, что реализация указанной системы предполагает наличие и эксплуатацию целого комплекса мобильного и стационарного технологического оборудования, что требует значительных капитальных вложений, больших затрат энергетических и трудовых ресурсов. Поэтому монография посвящена совершенствованию оптимизации режимов и

параметров системы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования, которая повышает эффективность использования материальных средств в процессе зернопереработки в целом. Установлено, что в производящих субъектах РФ в последние десятилетия интенсивно развивается переработка зерновых культур на базе интеграции сельхозтоваропроизводителей в агрохолдинги. Построено и введено в эксплуатацию современное зерноперерабатывающее оборудование отечественного и зарубежного производства. Однако база технического сервиса носит фрагментарный характер, создается стохастично и по-разному, без должного научного обоснования. Это приводит к снижению безотказности и коэффициента технического использования до значений 0,70–0,77, росту потерь от простоев технологического оборудования и снижению производительности по этой причине на 10–15%.

Совершенствование организации технического сервиса может быть выполнено с использованием методов компьютерного моделирования. Повышение эффективности технического сервиса возможно посредством его усовершенствования, в том числе и для зерноперерабатывающего оборудования. Для этого необходимо выявить закономерности влияния организации и режимов работы технического сервиса технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий коммерческих организаций, предприятий и обосновать рациональные параметры и режимы функционирования, обеспечивающие снижение затрат и повышение их конкурентоспособности. Для этого необходимо:

– обосновать критерии надежности и эффективности функционирования зерноперерабатывающего предприятия на основе теории массового обслуживания, теории марковских процессов и математического моделирования;

– разработать теоретические аспекты управления эксплуатационной надежностью технологических систем;

– исследовать закономерности потоков отказов и восстановлений, выявить влияние режимов и параметров системы технического обслуживания и ремонта технологического оборудования зерноперерабатывающего предприятия на показатели эффективности и надежности ее функционирования;

– выявить взаимосвязь экономической эффективности зернопереработки и параметров и режимов работы системы технического сервиса;

– выявить факторы, влияющие на снижение затрат и повышение конкурентоспособности зерноперерабатывающего оборудования;

– разработать мероприятия по совершенствованию организации и повышению эффективности технического сервиса посредством разработки подсистемы управления надежностью.

Усовершенствование организации и повышение эффективности технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования возможно,

путем оптимизации его организации с использованием теории массового обслуживания, основываясь на системном подходе к управлению надежности при эксплуатации.

Основные результаты исследования одобрены научно-техническим советом Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде, Министерством сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области и приняты для практического применения в ОАО «Ростовремагропром» (г. Зерноград Ростовской области), РГУП «Экспериментальное» (Зерноградский район Ростовской области) и в других коммерческих организациях.

Основные положения, обоснованные исследованиями коллектива авторов и изложенные в монографии:

1. Экспериментально установленные зависимости и точечные характеристики, описывающие интенсивности потоков требований на ремонтно-обслуживающие операции, показатели эксплуатационной надежности и потоков восстановлений зерноперерабатывающего оборудования.

2. Структуры централизованной, комбинированной и автономной систем организации обслуживания, компоненты системы управления надежностью, включая математические модели, позволяющие выполнить оптимизации систем технического сервиса по стоимостному критерию.

3. Рациональные параметры и режимы технического обслуживания зерноперерабатывающего оборудования, полученные на основе математической модели.

4. Рекомендации по системе управления надежностью в коммерческих организациях, одобренные и рекомендованные к внедрению Министерством сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области.

ГЛАВА 1 СИСТЕМНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

1.1. Основы рассмотрения технологического процесса эксплуатации оборудования в организационных системах

1.1.1 Объект исследования представляет собой совокупность множества существующих в фазовом пространстве состояний системы элементов (автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, комбайнов, средств технического обслуживания и ремонта, а также их узлов, агрегатов, механизмов, деталей, обрабатываемого материала, трудовых ресурсов).

Движение элементов можно считать упорядоченным в том случае, если исключено влияние случайностей: например, траектории движения деталей машин упорядочены наложенными связями, ограничивающими степени свободы. Однако динамика движения подвержена случайностям из-за неоднородности обрабатываемого материала, износа и др. Маршруты, скорости движения технических средств в общем виде предсказуемы, но в деталях составить реализованный впоследствии план их работы практически невозможно из-за изменения погодных условий и состояния предмета труда, возникающих неисправностей техники и непредвиденных приостановок выполнения работ; индивидуальных особенностях водителей и механизаторов.

Рассматриваемая система: обменивается с окружающей средой массой, энергией; характеризуется многофазовостью (соответственно технологии возделывания культур и др.); совокупностью входных и выходных параметров. Последние можно разделить на интенсивные (сменная и дневная наработки, расход горючего на один гектар, стоимость обработки одной тонны материала), которые не зависят от размеров системы, и экстенсивные (валовый сбор, масса внесенного удобрения и др.).

Известно, где и какие бы изменения не происходили в материальных макроскопических системах (состоящих из множества элементов, совокупное поведение которых подчиняется статистическим законам), всегда они сопровождаются теми или иными изменениями энергии и энтропии [7]. Следовательно, изучаемый процесс может быть исследован как энергоэнтропийная система, с помощью составления и изучения соответствующих балансов, на основе применения критериев эффективности для выбора (обоснования) рациональных вариантов.

1.1.2 Рассмотрели общеизвестные энергоэнтропийные законы применительно к системе использования машинно-тракторного парка. В соответствии с первым законом сохранения энергии ни одна материальная система не может развиваться или функционировать, не потребляя энергии ΔE, которая расходуется на совершение работы W, на изменение внутренней энергии системы ΔU и на рассеивание тепла в окружающей среде

$$\Delta E = \Delta U + W + Q_{oc}. \qquad (1.1)$$

Потребляемая рассматриваемой системой, энергия расходуется на обработку массива зерновых культур, очистку зерна, доставку и внесение удобрений, сбор и транспортировку зерна и незерновой части урожая, на упорядочение структуры процесса и сбор информации, технико-экономическое и организационное обслуживание, управление, а также на изменение внутренней энергии (например, образование запасов) и на рассеивание в конечном счете в виде тепла (потери в узлах трения, при преобразованиях энергии из одного вида в другой, при выполнении оказавшейся впоследствии ненужной работы и при простоях) (рисунок 1.1).

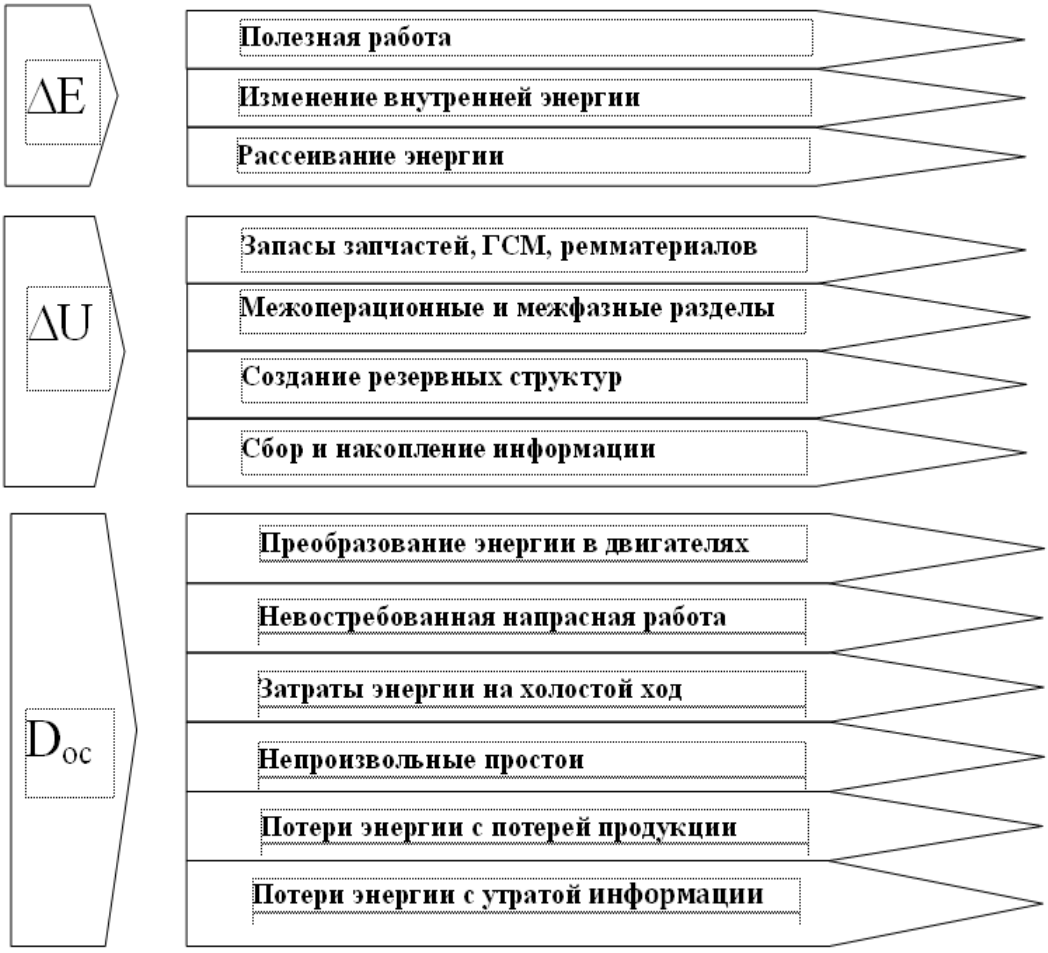


Рисунок 1.1 – Энергетический баланс технологической системы

В частности, в соответствии с первым законом (1.1) функциональная система потребляет энергию и информацию, неизбежно рассеивая часть ее при преобразованиях энергии, выполнении оказавшейся впоследствии ненужной работы, простоях, образовании нерациональных запасов, механическом движении технических средств и их узлов. Сохранить рассеивание энергии и внутренних затрат энергии возможно в случаях: оптимизации запасов топливо-смазочных материалов, сменных узлов и агрегатов, межфазных заделов обрабатываемого продукта; сведения к минимуму преобразований энергии; сокращении непроизводительных

простоев; устранения ненужных (избыточных) работ; рационального сочетания мощностей основных и обслуживающих (сервисных, ремонтно-обслуживающих, автотранспортных и др.) подсистем и элементов; сокращения расходов энергии на перекатывание машин и агрегатов (использование специально проложенных полевых дорог и разгрузочных магистралей, снижение собственного веса МТА, применение более совершенных двигателей и рабочих органов, снижение рабочих скоростей и т.д.); совершенствование технологии сбора, передачи, обработки и использования информации, в конечном счете – реализация информационных технологий, снижающих энтропию технологический системы технической эксплуатации машин и оборудовании, их сервиса.

1.1.3 В соответствии со вторым законом (возрастания энтропии), разработанным Р. Клаузиусом и В. Томпсоном, реальные изолированные макроскопические системы стремятся самопроизвольно перейти из менее вероятного состояния S_1 в более вероятное S_2 или из более упорядоченного состояния S_1 в менее упорядоченное S_2:

$$\Delta S = S_1 - S_2 > 0, \qquad (1.2)$$

где $S = k \cdot lgA$ – энтропия;

A – термодинамическая вероятность;

k – постоянная Больцмана; k = 1,38·10 Дж/К.

Применительно к реальным объектам системы эксплуатации машин и оборудования [64] так же соблюдена (1.2), так как абсолютно изолированных объектов в изучаемой системе нет. В соответствии с этим законом детали и узлы, корпусные детали машин, биологический урожай и др. в отдельные отрезки времени «стареют» и изо всех устойчивых стационарных состояний системы, допускаемых граничными условиями, законами переноса и сохранения, а также вторым законом, реализуется состояние с «минимальным производством энергии» (принцип «минимума возникновения энтропии»). Элементы рассматриваемой системы (совокупности деталей, узлов и др.), в свою очередь, не изолированы полностью, а получают извне информационно-материальные воздействия ΔI (тепловые, химические, биологические воздействия и др., в конечном итоге энергию в той или иной форме), снижающей уровень ее структуры или уровень информации о ней. В этом случае энтропия возрастает не только самопроизвольно (за счет отдельных деталей), но и вследствие внешнего воздействия (погодные условия, ошибочные действия тракториста-машиниста) [64]:

$$\Delta S > Q/T; \quad \Delta S_{инф} > Q/T_{инф}; \quad \Delta S > \Delta E/T_{стр}, \qquad (1.3)$$

где Q – потребляемая энергия;

$T_{стр}$, $T_{инф}$ – соответственно энтропия структуры или информации.

В общем случае [64]:

$$dS/dt \geq (1/T)\sqrt{xij}\ dx, \quad (1.4)$$

где dS/dt – скорость изменения энтропии;

j – потоки энергии;

X_{idx} – энергоэнтропийные движущие силы.

В соответствии с выражением (1.4) уменьшение dS/dt возможно при увеличении T (например, увеличение срока службы) и уменьшении потоков энергии и энергоэнтропийных действующих сил (энергосберегающие технологии, рациональная структура и оптимальное функционирование системы на основе использования информационных технологий).

1.1.4 В соответствии со вторым законом (1.2) энтропийные элементы системы переходят в наиболее вероятное состояние: изнашиваются, коррозируют, разрушаются, портятся, то есть подвергаются необратимым в данной системе процессам "старения". Следовательно, необходимо подбирать элементы с меньшим значением $\Delta S/t$ (более долговечные); периодически подвергать их внешним, ремонтно-обслуживающим воздействиям; использовать оптимальные стратегии ремонта, взамен, резервирования на основе принципов теории надежности.

1.1.5 В соответствии с третьим законом энергоэнтропики (уменьшение энтропии открытых систем при прогрессивном развитии), энтропия открытых систем, к которым относится эксплуатация машинно-тракторного парка, в процессе их прогрессивного развития всегда уменьшается за счет потребления энергии или информации от внешних источников (так называемая «теорема Нерста» [8]):

$$\Delta Sm < Q\ T;\ \Delta S_{стр} < \Delta E\ T_{стр}, \quad (1.5)$$

$$\Delta S_{инф} < \Delta E\ T_{инф}. \quad (1.6)$$

В соответствии с «теоремой Нерста» энергия систем, служащих источниками энергии и негэнтропии (например, подсистема материально-технического снабжения, подсистема управления, научные концепции и рекомендации), соответственно возрастает.

1.1.6 В соответствии с четвертым законом энергоэнтропики (закон предельного развития материальных систем), изучаемая система при прогрессивном развитии достигает характерного для каждой совокупности внешних и внутренних условий предела, который можно выразить максимальным значением соответствующего вида негэнтропии ($-S$). Использование сельскохозяйственной техники в растениеводстве характеризуется периодами, во время которых создаются соответствующие подсистемы. По окончанию периода они трансформируются. В процессе своего развития система эксплуатации машин и оборудования достигает состояния, которое является нижним уровнем меры энтропии и соответственно устойчивости. При прекращении поступления энергии и информации извне (т.е. когда очередной период сельхозработ закончился), энтропия системы начинает возрастать, и при достижении верхнего уровня меры энтропии прекращает существование в прежнем качестве.

На основании этого можно сделать вывод о том, что более совершенной является система с меньшим временным градиентом энтропии. В предельном случае, в соответствии с этим законом:

$$Lim\Delta S = -S_{max},\ t > A, \qquad (1.7)$$

где A – момент реализации $_{max}$ негэнтропии [8].

Развитие объекта исследований должно происходить в направлении все более экономного расходования энергии на функционирование системы и на все большее увеличение негэнтропии технических средств, что отвечает 3 и 4 законам (перспективными являются системы энергоэнтропийные – более эффективные).

1.1.7 В соответствии с пятым законом энергоэнтропики (преимущественного развития), в данном классе материальных систем преимущественное развитие получают те из них, которые при данной совокупности внутренних и внешних условий достигают максимального значения негэнтропии. Этот закон начинает действовать с развитием рынка.

В соответствии с законом преимущественного развития более предпочтительны саморазвивающиеся, самоорганизующиеся системы и составляющие систему энтропийные элементы большей долговечности и надежности.

Так как развитие системы происходит за счет внешнего потребления энергии и информации, возможно саморазвитие системы в течение некоторого времени за счет накопленных ресурсов (энергии, информации, резервных структур). Например, система имеет периоды создания, функционирования и гибели; создается перед циклом полевых работ, самостоятельно функционирует заданный цикл и прекращает существование по завершению цикла.

На новом качественном этапе развития системы имеется предел развития, определенный динамикой взаимодействий элементов и уровнем их совершенства. Нового состояния системы можно достичь, изменяя качество технического оснащения, структуру организации и управления: технико-экономическую обоснованность интенсивных и экстенсивных параметров (выработка, состав МТП, уровень запасов и т.д.), элементов и подсистем; принципов управления; направленность и упорядоченность движения (в широком смысле) элементов системы (точность соблюдения: маршрута, технологии и т.п.).

Таким образом, объект исследований является статистической, открытой, многофазовой, характеризующейся интенсивными и экстенсивными параметрами системой, представляющей собой совокупность основных и вспомогательных элементов, а также находящихся в обработке предметов труда, ремонтно-технологических материалов и др., объединенных общей целевой функцией, переход которой в более эффективное состояние достигается действием внешних факторов. Таким фактором может быть разработанная вне системы и внедренная в нее

обратная информационная связь, включающая в себя ЭВМ с соответствующим программным и информационным обеспечением.

Приведенные признаки имеют системы, называемые функциональными [64]. Рассматриваемая функциональная система включает в себя отдельные энтропийные элементы технических средств, которые подвергаются коррозии и изнашиванию.

1.1.8 Под критерием эффективности в широком смысле понимают социально-технические параметры, оценивающие систему качественно и количественно (производительность, устойчивость показателей функционирования, энергонасыщенность и др.) [67].

Критерии развития (внутренние показатели, изменение которых непосредственно ведет к изменению критерия: сокращение простоев, увеличение наработки и т.п.) зависят от внутренних факторов развития.

Последние можно разделить на три группы: 1 – характеризующие материальную основу системы (семена, удобрения, ТСМ и т.д.); 2 – отражающие структурно-функциональное строение (технология, структура парка машин, севооборот и др.); 3 – оценивающие квалификацию и условия труда трактористов-машинистов, водителей и других работников.

Внутренние факторы зависят в свою очередь от внешних: погодных условий, состояния обрабатываемого продукта и т.д.

В случае исследования технологических систем, критерий эффективности которых зависит от взаимосвязанных внутренних ($f_{внутр}$) и внешних ($f_{внешн}$) факторов, критерий эффективности выражается в виде [67].

$$E = f\{ f_{внешн}, f_{разв} [f_{внутр} (f_{внешн}), t], \quad (1.8)$$

где $f_{разв}$ – критерии развития системы, зависящие от внутренних факторов;

$f_{внешн}$ – показатели системы, зависящие от внешних факторов;

t – время, причем

$$f = b (f) t . \quad (1.9)$$

Критерий эффективности отражает интегральный процесс, включающий следующие аспекты: совершенствование структуры данной системы, поддержание уровня энтропийных элементов и системы в целом. На наш взгляд, процесс создания новых свойств и деградации имеющихся элементов технологической системы эксплуатации машин и оборудования можно описать на основе теории марковских процессов уравнением [80]:

$$M(t) = E \cdot K(t) = -\lambda \quad F (t) + \mu \quad F_2 (t), \quad (1.10)$$

где $M(t)$ – модель системы во времени t;

$F_1(t)$ – процесс увеличения энтропии системы;

$F_2(t)$ – процесс восстановления имеющихся элементов и новых структур;

λ – параметр, отражающий случайный процесс деструкции энтропийных элементов;

μ – параметр, отражающий процесс восстановления системы и создания

новых элементов;

K – функция, связывающая критерий эффективности с энтропией системы.

В соответствии с данным уравнением в результате подвода энергии и информации система восстанавливает свои свойства, при этом часть энергии рассеивается в окружающей среде. Процесс восстановления выражается слагаемым *F(t)*.

Описанный критерий эффективности является функцией критерия развития, связанного с внешними факторами: управляющими, конструктивными, возмущающими, а также входными параметрами. Критерий эффективности технологической системы эксплуатации машин и оборудования – результат сложного интегративного процесса убывания годности (возрастания энтропии) и возобновления (восстановления) имеющихся ресурсов: ремонта, технических, технологических и др.

Восстановления (возобновление) ресурсов происходит с рассеиванием энергии, с различной интенсивностью для различных элементов и подсистем с несовпадающими временными циклами (рисунок 1.2).

1.1.9 Сельскохозяйственные периоды использования техники характерны для процесса эксплуатации машин и оборудования, поэтому последний имеет временные структуры, соответствующие этим периодам. Временные структуры создаются из энтропийных элементов и функциональных подсистем, существуют определенное время (продолжительностью сезона работ) и затем распадаются, имея циклы создания, функционирования и распада (рисунок 1.2).

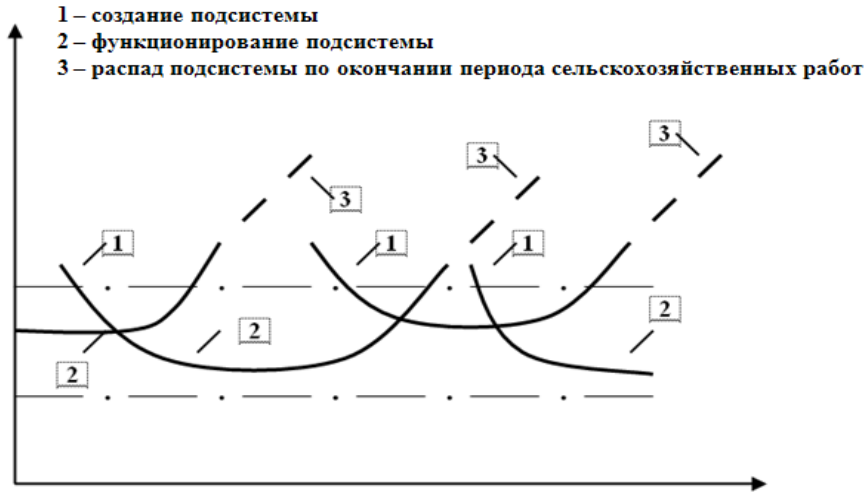


Рисунок 1.2 – Циклы подсистемы эксплуатации МТП

В идеальном случае процесс интерпретируется с использованием детерминированных зависимостей, однако реальная система как совокупность энтропийных элементов, структуры которых восстанавливаются и совершенствуются с различной эффективностью и не совпадают во времени, может быть интерпретирована как случайный процесс.

В период создания система накапливает негэнтропию. Источником негэнтропии системы является, наряду с топливом и электроэнергией, научные концепции, стратегии, оптимизационные расчеты, принципы и методы управления, технология сбора, передачи, обработки и использования информации, а также активная, инициативная работа участвующих в процессе работников. Негэнтропию последних стимулируют рыночные отношения, участие рабочих в прибыли (акционирование и др.), профессионализм. Данный пункт является обоснованием предпринятых исследований, предполагающих уменьшить градиент энтропии системы за счет привнесения извне информации в виде научно обоснованной структуры и режимов работы, введением обратной информационной связи.

Последняя включает в себя потоки информации о результатах труда, технологиях, состоянии предмета и средств труда, средства (ЭВМ) и методы (компьютерные программы, информационные и математические модели) обработки потоков информации, средства и методы "развода" к управляемой системе негэнтропии.

В период функционирования отмеченная система излучает стохастический поток рассеиваемой энергии, в том числе и материальные носители этой энергии в виде потребности возобновления израсходованных ресурсов (технических, технологических).

При структуризации технологической системы эксплуатации машин и оборудования в начале очередного характерного периода полевых работ, создаются ресурсы (материальные, трудовые, технические, технологические и др.); под ресурсом понимается потенциальная возможность совершения или несовершения работы, выполнения определенного количества действий (циклов "сжатие-растяжение", замен деталей и узлов, заправок машин, обмолота некоторого количества хлебного массива и пр.). Ресурс положен в основу понятия годности (обобщенной характеристики свойств) машин. Под годностью понимают ее относительную способность и потенциальные возможности выполнять свои функции или заданный процесс в пределах допустимых отклонений по качеству и экономичности в течение оптимального ресурса или срока ее службы в производстве.

1.1.10 А.И. Селиванов определил годность готовой к работе машины, как сумму годностей ее конструктивных и неконструктивных элементов:

$$E_m = \sum_1^S E_i + \sum_1^S G_j , \qquad (1.11)$$

где $\sum_1^S E_i$ – сумма годности всех конструктивных элементов;

$\sum_1^S G_j$ – сумма годности всех неконструктивных элементов машины.

По аналогии с (1.10) предположили, что годность системы ($E_{экспл.\ м.\ и\ об.}$) можно характеризовать годностью ее производственных ($E_{пр}$) и непроизводственных ($E_{непр}$) элементов, основных ($E_{осн}$) и вспомогательных ($E_{всп}$) элементов и т.д.

$$E_{ЭМТП} = \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{пр} + \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{непр} + \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{осн} + \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{всп} \; ; \quad (1.12)$$

$$E_{ЭМТП} = f\left(\sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{пр} + \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{непр} + \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{осн} + \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{всп}\right) \quad (1.13)$$

$$Ei \in E \; . \quad (1.14)$$

Для элементов, состоящих более чем из одной машины:

$$\sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{элем} = \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} E_{mi} = \sum_{1}^{S}\sum_{1}^{Z} \mathbf{G}_{\mathrm{j}} \; , \quad (1.15)$$

где E_{mi} – годность всех машин;

Gj – годность функциональных и др. структур.

Соответственно изменяется годность как обобщенный показатель критерия развития. Таким образом, годность обратно пропорциональна энтропии. Чем выше годность машины, тем меньше ее энтропия; в процессе эксплуатации годность утрачивается, а энтропия возрастает.

На рисунке 1.3 интерпретированы варианты с изменением годности по прямолинейному закону.

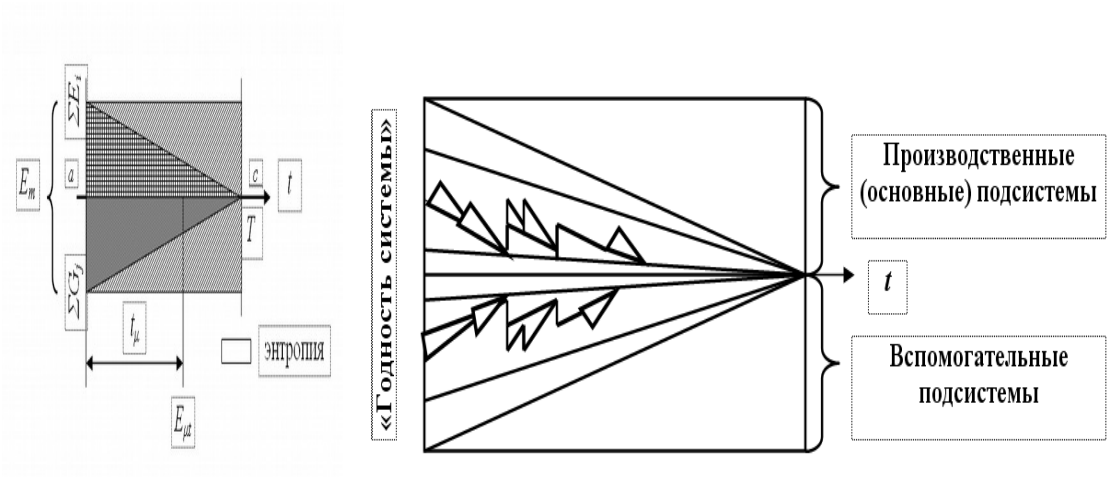


Рисунок 1.3 – Структурные составляющие годности по А.И. Селиванову на примере машин первой категории

Для технологических систем эксплуатации машин и оборудования характерны следующие процессы, уменьшающие энтропию: восстановление параметрических и функциональных отказов, возобновление технических, технологических ресурсов, создание запасов и резервов, восстановление функциональных и информационных связей и ввод в действие резервных структур, операции ремонта и ТО отдельных машин.

В отличие от годности отдельно взятой машины, когда увеличение негэнтропии происходит за счет внешней среды, в системах это происходит за счет энтропии структур ($T_{стр}$) и информации ($T_{инф}$). В свою очередь, $T_{стр}$ и

$T_{инф}$ возобновляются из внешней среды [64]. Академик А.И. Селиванов считал более совершенным типом машин такие, которые могут использоваться потребителями в течение всего периода эксплуатации в составе исходных образцов с некоторым количеством недолговечных периодически восстанавливаемых конструктивных и неконструктивных элементов. Таких же взглядов придерживается профессор Р.В. Кугель, свои выводы он подтвердил обширным фактическим материалом. Изложенная точка зрения есть интерпретация законов возрастания энтропии и преимущественного развития. Для указанных систем исходное значение годности ниже, а градиент энтропии выше (по абсолютной величине для деградирующих систем).

Для структурных элементов и подсистем достигается изменением внутренних структур в случаях накопления (при создании системы) запасов, различных ресурсов, переменных и резервных структур. Естественно, типы отдельных машин останутся неизменными.

1.1.11 Наличие характерных периодов полевых работ у данной стохастической системы приводит к наличию центра, граничной устойчивости, неустойчивого состояния. Так как данная система функционирует во времени, то описанное можно изобразить в виде "мгновенного" сечения интегрального динамического цикла развития (рисунок 1.4).

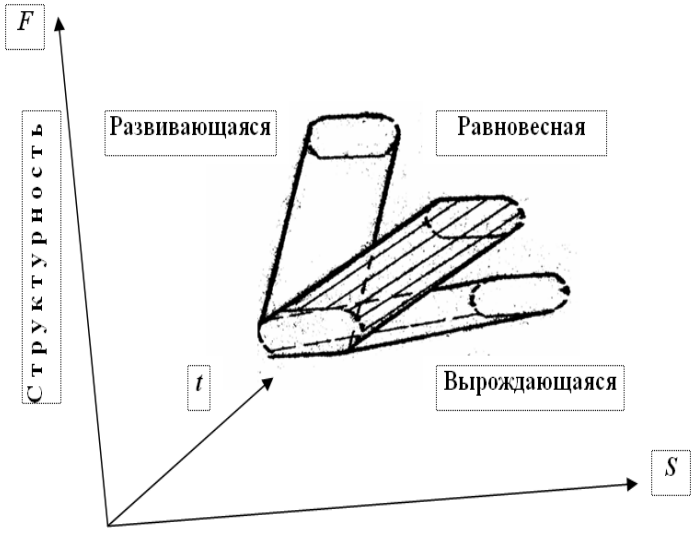


Рисунок 1.4 – Интегральный динамический цикл стохастической технологической системы в пространстве ее состояний

В трехмерном пространстве он может развиваться как прогрессивный деградирующий и динамически стабильный; если в рассматриваемом пространстве F – обобщенная координата $e \cdot l \cdot h \cdot b$, t – время, S – энтропия.

1.1.12 Рассмотрели мгновенное сечение системы (рисунок 1.4). Оно имеет зоны "ядра", "приядерного сгущения" и "рассеянной оболочки". Параметры зон характеризуются надежностью (т.е. устойчивостью параметров в течение заданного времени) элементов (t), интенсивностью их

восстановления (*t*). Эти два процесса определяют меру устойчивости системы:

$$M_y = S_я \cdot\cdot (S_{max} - S_{min}), \quad (1.16)$$

$$M_y = (Lim\ M_н)\ \Delta S/\ \Delta t = \Delta S/\ \Delta t\ , \quad (1.17)$$

где S_{max} – максимальное значение энтропии;

S_{min} – минимальное значение энтропии;

$S_я$ – энтропия центра ядра сечения.

В том случае, когда система восстанавливается (см. рисунок 1.1), начальное значение S выше, чем при равных *dS/dt.* Меры устойчивости соотносятся следующим образом:

$$(S - S)/S_я < (S - S\ )/S_я, \quad (1.18)$$

то есть устойчивость систем 4 типа выше, чем 1 типа, поскольку использование техники системой с разделенными параметрами, восстановление внешними по отношению к системе воздействия связано с временной задержкой на передачу информации, переездами и подготовительными операциями и пр., и как следствие, организационными простоями, которые составляют 15–20%. На основании изложенного применительно к системе использования техники в сельском хозяйстве сделаны выводы о направлениях решения проблемы эффективности и надежности функционирования технологических систем.

1.2 Системные методы управления надежностью и эффективностью

1.2.1 В настоящее время широкое распространение получил системный подход к исследованию производственных процессов на сельскохозяйственных предприятиях, причем учитывается тот факт, что возможности и последствия любой аграрной технологии в существенной мере зависят от используемой для ее реализации техники и подсистемы ее технической эксплуатации.

Техника используется практически на всех операциях, функционально взаимосвязана, то есть используется в составе технологического комплекса, входящего в технологическую систему производства сельскохозяйственной продукции.

В перспективе роль таких комплексов будут играть МЭС и шлейф машин к ним. В аграрном секторе народного хозяйства технологические системы распределены по уровням: подразделения сельхозпредприятий; совхозы, колхозы, в будущем – кооперативы и товарищества фермеров; межхозяйственные предприятия, районные объединения и комбинаты.

Нижний иерархический уровень назван производственными элементами (уборочно-транспортный комплекс, пахотный или кормоуборочный отряд, посевное звено и др.). К этому уровню можно отнести возникающие в хозяйствах первичные сельхозкооперативы, арендные звенья и крестьянские хозяйства.

В нашей концепции исходили из того, что эксплуатация технологических комплексов исполнителями в регламентируемых условиях производства как технологическая система может иметь как работоспособное, так и неработоспособное состояния.

Работоспособное состояние системы – состояние, при котором значения параметров и (или) показателей качества производимой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на производство сельхозпродукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической документации и(или) конструкторской и технологической документации [85].

К параметрам продукции рекомендуется относить часовую и сменную выработки, затраты времени на производство единицы продукции; к параметрам материальных затрат относят расход топливо-смазочных материалов, времени, ремонтно-технологических материалов, стоимость технического обслуживания, ремонта, хранения, расходуемых в технологических операциях материалов и т.д.

Неработоспособное состояние характеризуется тем, что значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества производимой продукции (зерна, молока, обработанного поля и др.), производительности, материальных и стоимостных затрат на производство продукции не соответствуют стандартам или другим установленным требования [85].

Различают неработоспособные состояния: по параметрам продукции, по производительности, по затратам. Неработоспособное состояние возникает вследствие отказов. Последние классифицированы: по характеру нарушения работоспособности, по наличию связи с другими объектами, по параметрам качества [82]. В отношении сельхозпроизводства нами дана следующая интерпретация отказов технологических систем. В результате действия случайных факторов (погодных условий, отказов техники, невыхода механизатора на работу, отсутствия необходимых при ремонте запчастей и пр.) технологическая система может прекратить функционирование (функциональный отказ), либо снизить производительность или другой параметр системы (параметрический отказ).

Отказ системы одного из уровней может произойти по собственной причине (собственный отказ), либо по вине смежных систем (снабжения, сбыта, транспорта и пр.).

Производимая продукция по своим параметрам может быть некондиционной, не соответствовать требованиям к вспашке под данную культуру и т.д. В этом случае имеет место отказ технологической системы по параметрам продукции.

Из-за повышенной влажности обрабатываемого материала, его засоренности, неотрегулированных технических средств, по вине механизатора или(и) обслуживающего, управленческого персонала значение хотя бы одного параметра производительности технологической системы может не соответствовать значениям нормативной документации (отказ

системы по производительности). Также может произойти отказ системы по причине выхода хотя бы одного параметра материальных или стоимостных затрат из заданных пределов.

Рассматривая надежность системы, имели в виду такие ее показатели, как вероятность безотказной работы по параметрам (продукции, производительности и др.), вероятность выполнения задания, установленная наработка. Вместе с ними оперировали комплексными показателями надежности и эффективности: коэффициентом сохранения производительности, коэффициентом расхода ресурсов, коэффициентом использования технологической системы [84, 85, 86]. Отмеченные комплексные показатели могут быть использованы для системных методов управления надежностью технологических систем эксплуатации машин и оборудования.

Понятие "системные методы управления надежностью сельскохозяйственной техники" впервые введено в трудах А.Ф. Кононенко и А.С. Каменского. С общефилософских позиций системный подход – направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объекта как системы, то есть эмерджентной совокупности взаимосвязанных системообразующим фактором (целью функционирования) элементов, выступающих как единое целое, ориентированных на достижение целевого состояния.

По определению В.Н. Садовского, системный подход выражает процессуальный, методологический, рефлексивный аспект системных исследований и представляет собой эксплицитное выражение процедуры определения объектов как систем и способов их специфически системного исследования. Объекты как системы рассматриваются при условиях: наличия интегративных свойств (качеств) и существенных связей между элементами.

Интегративными называют качества, присущие системе в целом, но не свойственные ни одному из ее элементов в отдельности, то есть система не сводится к простой совокупности элементов, и, расчленяя систему на отдельные части, изучая каждую из них в отдельности, нельзя познать все свойства системы в целом. Существенные связи между элементами превосходят по мощности (силе) связи этих элементов с элементами, не входящими в данную систему.

Изучение любой системы предполагает создание модели системы, позволяющей предсказывать ее поведение в определенном диапазоне условий. Модель – описание системы, отображающее определенную группу ее свойств, например, функциональную, морфологическую, информационную. Соответственно называются и описания [14, 76, 84].

Функциональное описание необходимо для того, чтобы осознать важность системы, определить ее место, оценить отношение к другим системам и внешней среде. Под последним понимается множество элементов, которые не входят в систему, но изменение состояния системы зависит от их состояния (состояние – множество существенных свойств,

которыми система обладает в данный момент времени).

Морфологическое описание дает представление о строении системы, однако оно не может быть исчерпывающим: глубина описания и уровень детализации определяются назначением системы и целью исследования. Изучение морфологии начинается с элементного состава. Под элементом в данном случае понимается подсистема, внутрь которой описание не проникает. Морфологические свойства системы существенно зависят от характера связей: информационных, энергетических, вещественных.

Информационные связи предназначены для переноса информации, энергетические – для переноса энергии между элементами, вещественные – для передачи материала или изменения его свойств. В результате морфологического описания возникает понятие структуры – совокупности элементов и связей между ними.

Информационное описание системы дает представление об ее организации. Оно определяет зависимость морфологических и функциональных свойств системы от качества и количества внутренней (о себе самой и среде) и внешней (поступающей из среды) информации [91].

Таким образом, методологическая специфика системного подхода определяется тем, что ориентирует исследование на раскрытие целостности системы, обеспечивающей его механизмы, на выявление многообразных типов связей и сведение их в единую теоретическую картину.

Поскольку эксплуатация машин и оборудования – есть причинно-следственная цепь состояний, а управление состояниями – информационный процесс упорядочивания (структуризации) системы, для управления ее надежностью необходимо разработать методы информационного регулирования переходов системы из состояния в состояние. Информационное регулирование должно быть направлено на перевод системы из более вероятного состояния в менее вероятное и основано на математическом моделировании и применении ЭВМ, то есть целенаправленный переход системы должен обеспечиваться негэнтропийным процессом (на базе изоморфных реальному процессу математических моделей и ЭВМ).

Управление надежностью может быть основано и на разработках Дж. Неймана, Э. Мура и К. Шеннона, основанных на использовании избыточности (временной, структурной); введении обратной отрицательной связи в подсистеме инженерной службы [91, 151].

Последняя должна быть преобразована в службу надежности, управляющей эксплуатацией машин и оборудования, в том числе путем выбора оптимального решения из альтернатив.

Проблема технической эксплуатации имеет производственно-технологический и научный аспекты.

Первый из них связан с разработкой принципов и концепций построения структур подсистемы обеспечения надежности и эффективности технологической системы использования указанных машин, создание

органов ее управления (например, по типу ранее существовавших МТС на различных уровнях (сельхозпредприятия, района, региона, отрасли); создание необходимых запасов ремонтно-технологических и топливо-смазочных материалов, подготовка персонала, подготовка производства.

Научный аспект связан с созданием математических моделей, теоретических основ и методов управления надежностью и эффективностью использования машинно-тракторного парка, в перспективе – МЭС и комплексов машин к ним.

Математические модели должны быть адекватными объекту исследований и поставленной проблеме.

Теоретические основы должны позволять: оптимизировать структуру, механизм функционирования, режимы работы системы; создать комплекс математического и программного обеспечения обратной связи.

1.3 Принципы разработки структур

1.3.1 В данной работе под структурой системы понимается совокупность и характер связей и отношений между элементами.

Известны различные виды элементов. Производственный элемент – элемент, выполняющий функцию производства продукции, работы, услуги. Алгоритмический элемент – алгоритм реализации функционирования элемента. Технический элемент – вещественная реализация одного или нескольких производственных элементов. Конструктивный элемент представляет собой конструктивно завершенную реализацию одного или нескольких технических элементов, выполненных с учетом заданных условий эксплуатации, ТО, технического обслуживания, снабжения и размещения в пространстве.

Была поставлена задача обоснования на основе физической сущности процесса эксплуатации машин и оборудования примерной структуры обеспечения его надежности, так как разнообразные и часто изменяющиеся условия внешней среды, недостаточная надежность элементов обуславливают потери за счет отказов системы.

Таким образом, вопрос состоит в коррекции объекта управления за счет специальных структур. Объект управления – процесс эксплуатации машин и оборудования. Корректирующие воздействия – это управляющие, а процесс их выработки и осуществления – управление. Следовательно, необходимо обосновать примерную структуру для управления надежностью организационных систем.

Известны следующие классы задач управления:

– обеспечение заданного характера изменения некоторых функций изменения координат движения объекта управления в n-мерном пространстве состояний;

– коррекция динамических свойств, например, перевод из неустойчивого состояния в устойчивое;

– компенсация возмущений, воздействующих на процессы в объекте

управления, компенсация отклонений от желаемых значений координат;

– разработка математических структур применительно к задачам повышения надежности и эффективности машин и оборудования в эксплуатации, нежелательных изменений динамических свойств (нежелательных изменений структуры объекта).

Активное использование системного подхода в технике для решения подобных задач привело к созданию "системотехники", охватывающей вопросы проектирования сложных систем. Термин "системотехника" используется для описания обобщенного подхода к проектированию систем, конструируемых для решения различных задач при условии, что эти задачи будут решаться наиболее эффективным из всех возможных способов, причем каждый элемент системы будет рассматриваться не сам по себе, а во взаимодействии с другими элементами [83].

Системотехника позволяет решать задачи: обоснования структуры системы использования техники, организации взаимодействия между подсистемами и элементами, учет влияния внешней среды, разработки алгоритмов функционирования.

Структура была рассмотрена как организационная, функциональная и техническая.

При анализе организационной структуры решали задачи: состава организации и построения ее структурной схемы; определения функций отдельных подсистем и элементов; описание материальных, вещественных и информационных связей.

При анализе функциональной структуры: изучали технологию производства работ, состав операций и их взаимосвязи; описывали организационно-функциональную структуру и ее подсистемы.

В соответствии с системным подходом для достижения целевого состояния объекта исследований выделили вполне определенную структуру, необходимую и достаточную для существования проектируемой системы с заданными свойствами. Сущность системного подхода к разработке состояла в выделении структуры, необходимой и достаточной для реализации поставленной цели в условиях действующих ограничений на трудовые и материальные ресурсы. Содержание системного подхода состояло в том, чтобы не упустить из вида ни одну из управленческих или производственных задач; выявить и взаимно увязать применительно к этим задачам все операции процесса и элементы системы; скоординировать работу подсистемы; оптимизировать сочетание централизации и децентрализации системы; увязать структуру системы с возможностью использования ЭВМ, кадровой политикой, оплатой и стимулированием труда.

Системные признаки включают в себя свойства, для обеспечения которых разрабатывается система (целостность, стабильность, устойчивость); композицию, обеспечивающую наличие этих свойств (элементы, отношения между элементами); целевое состояние и системопорождающее противоречие.

Возникающая ситуация в организации производства продукции растениеводства определяет целевое состояние – максимальный сбор выращенного в конкретных условиях сельскохозяйственного производства урожая. Цель служит объективным критерием отбора из окружающей среды всех отношений и элементов, образующих систему.

В состав последней включается то, и только то, что необходимо и достаточно для достижения целевого состояния. Как результат, в определенных условиях внешней среды, которые накладывают на функции системы ограничения, формируется структура с заранее заданными свойствами. Указанная структура – итог осуществления этапов разработки системы, конкретизацией которой объясняется комплексная система возделывания, уборки и переработки урожая.

Действия внешней среды заключаются в следующем. На вход поступает исходный продукт: предмет труда, топливо-смазочные материалы и др. Возмущающие действия внешней среды разбили на группы: технические, технологические, погодные.

Например, в результате взаимодействия машин с предметом труда и внешней средой происходят их отказы, возникают непредвиденные потребности в ремонте. Изменяется влажность почвы, семян, полеглость и засоренность полей во время уборки.

Управление направлено на достижение цели системы при ограничениях на трудовые и материальные ресурсы и представляют собой процесс, обеспечивающий единство функционирования подсистем при достижении поставленной цели. Основные особенности управления проектируемой системы заключаются в следующем: единство хозяйственного руководства (единоначалие); стимулирование труда работников в зависимости от прибыли; рассредоточенность объектов управления по территории; значимое влияние случайных факторов; централизация производства и управления. Необходимо координировать работу различных предприятий (транспортных предприятий, хлебоприемного пункта и др.).

Для решения задач управления надежностью достаточно организовать координатное, параметрическое или структурное управление.

Задача анализа влияния на работоспособность системы, ее структуры, не рассматривалась до настоящего времени, она остается мало исследованной и в других отраслях науки. Б.Г. Волик предложил ее решение в направлении построения моделей эволюции работоспособности и жизненного цикла системы.

Основу моделей составляет граф изменения работоспособности объекта и моделирующие процедуры. Для построения графов состояний использованы следующие сведения из теории графов [23, 29]. Анализ надежности системы со сложной структурой сводится к ее представлению в виде эквивалентного элемента. Используются следующие индикаторные функции (наряду с булевыми переменными).

$$x(t) = \begin{cases} 1, \text{ если } i\text{-й элемент системы в момент } t \text{ работоспособен;} \\ 0, \text{ если } i\text{-й элемент системы в момент } t \text{ находится в состоянии отказа.} \end{cases} \quad (1.19)$$

Состояние системы из n элементов характеризуется n-мерным вектором (всего два состояния).

$$X = (x_1, x_2, \ldots, x_n). \quad (1.20)$$

Состояниям (1.21) соответствуют два подмножества:

$$\Phi(X) = \begin{cases} 1, \text{ если состояние } X \text{ соответствует работоспособному;} \\ 0, \text{ если состояние } X \text{ соответствует неработоспособному} \end{cases} \quad (1.21)$$

Свойства данной структурной функции: если $X = 1$, то $\Phi(X) = 1$, и если $X = 0$, то и $\Phi(X) = 0$. Возможны несколько типовых структур: последовательная, параллельная, последовательно-параллельная, приводимые и неприводимые. В теории надежности последовательной называют систему, в которой отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу системы.

Н.Ф. Прибытков и В.Ф. Скробач в качестве примеров систем с последовательным соединением элементов приводят технологические линии уборки сельскохозяйственных культур. В этом случае производственными элементами являются комбайновые, транспортные и другие звенья.

Последовательными являются также подсистемы восстановления отказавшей машины, структурная функция для последовательной системы записывается в виде логического произведения [23].

$$\Phi(X) = \cap x_i, \quad (1.22)$$

$$\bigcup_{1 \le i \le N}^{1 \le i \le n} x = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \ldots x_n . \quad (1.23)$$

Выражению (1.23) эквивалентно событие "не отказ"

$$\Phi(X) = \overline{\bigcup_{1 \le i \le N} x_i}, \quad (1.24)$$

$$Ux_i = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee \ldots \vee x_n . \quad (1.25)$$

Графически (1.23) и (1.25) интерпретируются диаграммой Эйлера-Венна. Структурная функция для параллельной системы [23]:

$$\Phi(X) = \bigcup_{1 \le i \le W} x_i \quad (1.26)$$

или через дополнительное событие,

$$\Phi(X) = \overline{\bigcup_{1 \le i \le W} x_i} . \quad (1.27)$$

Примером параллельной системы могут служить: сцепки нескольких сеялок, фрагмент работы транспортных средств на отвозе основной и

побочной продукции и др. Отказ одного элемента приводит к отказу всей системы, структурная функция последовательно-параллельной системы имеет вид:

$$\Phi(X) = \bigcup_{1 \le j \le n} \; \bigcup_{1 \le i \le a} x_{ij} \; ; \qquad (1.28)$$

или, аналогично (1.28)

$$\Phi(X) = \bigcup_{1 \le j \le n} \; \bigcup_{1 \le i \le n} \overline{x}_{ij} \; , \qquad (1.29)$$

$$\Phi(X) = \bigcup_{1 \le j \le N} \; \bigcup_{1 \le j \le n} x \; . \qquad (1.30)$$

Последовательно-параллельной является технология транспортной подсистемы, структурная функция параллельно-последовательной системы имеет следующий вид:

$$\Phi(X) = \bigcup_{1 \le j \le N} \; \bigcup_{1 \le j \le n} x_{ji} \; , \qquad (1.31)$$

$$\Phi(X) = \bigcup_{1 \le j \le N} \; \bigcup_{1 \le j \le n} \overline{x}_{ji} \; . \qquad (1.32)$$

Параллельно-последовательной системой являются многие процессы производства сельскохозяйственной продукции, в том числе технологии работ в растениеводстве.

К системам с проводимой структурой относятся те из них, которые могут быть путем последовательных трансформаций сведены к простейшей. Приводимые структуры рассматриваются в теории автоматизации сельскохозяйственного производства [40, 45, 64], где рассмотрены эквивалентные преобразования. Исходная система на первом шаге представляется последовательной, далее параллельно-последовательной, причем элемент x преобразуется сначала в x_1, x_2, и x_3, последние – в (x_{11}, x_{12}), (x_{21}, x_{22}), (x_{31}, x_{32}, x_{33}) и т.д.

1.3.2 В принципе любая двухполюсная сеть может быть построена так: задается множество вершин, две из которых – полюсы графа, а между остальными по определенным правилам строятся ребра [23]. Ребра взаимно однозначно отражают элементы, правила построения задаются технологией сельскохозяйственных работ. Известны процедуры, которые позволяют упрощать схему до двухполюсника, однако не все структуры – приводимые. Реальные структуры технологических процессов, детализированные до МТА, отличаются большой сложностью, поэтому они подлежат вначале оптимизации, а затем оптимальная структура в виде минимального пути без петель (циклов и "висячих" ребер) подлежит анализу с точки зрения надежности.

Минимальный (или простой) путь представляет собой

последовательное соединение ребер графа, причем часть из них (начальные и конечные) идентично соответствуют входному и выходному полюсам. Если A – подмножество ребер минимального пути j, то структурную функцию этого минимального пути (x) можно записать в виде:

$$\beta_к(x) = \bigcup_{i \in \beta_k} \overline{x}_i \ . \qquad (1.33)$$

В последовательной системе минимальным путем является множество всех ее ребер. В параллельной системе каждый простой путь есть ребро, число простых путей равно числу ребер в системе.

Структурная функция путей имеет вид:

$$\Phi(x) = \bigcup_{1 \le j \le N} d(x) = \bigcup_{1 \le j \le N} d(\overline{x}) \ , \qquad (1.34)$$

где N – число простых путей.

С учетом (1.34) запишем (1.35) в виде:

$$\Phi(x) = \bigcap_{1 \le k \le M} \bigcap_{i \in \beta_k} \overline{x} \ . \qquad (1.35)$$

Вершины графа означают технические состояния. Например, основные состояния конструкций сельхозмашин включают в себя как работоспособное, так и неработоспособное вследствие: непланового текущего (эксплуатационного) ремонта, периодического ТО, планового текущего ремонта, капитального ремонта, ТО при длительном хранении, технологических отказов, изготовления – ликвидации. Рассматривая модель надежности контролируемых организационных систем, Аристов А.И. и Борисенко В.С. вводят размеченный граф состояний системы с непрерывным контролем за состояниями: готовность к работе (x_i), восстановления (x_i и x_j), когда основная и контролируемая система восстанавливаются.

1.3.3 Для сельскохозяйственных технологических систем в целом характерны следующие состояния: работоспособное с n-м объемом накопленных отклонений, неработоспособное по параметрам сельскохозяйственной продукции (повышенная влажность зерна при хранении на складе, недопустимые потери при скашивании массы в валки или обмолоте валков, прессовании сена, уборке кукурузы на силос или зерно и т.д.); неработоспособное состояние по производительности или (и) затратам.

Характерным для рассматриваемых систем является частично работоспособное состояние с i-м уровнем работоспособности и j-м объемом отклонений по производительности, параметрам. Например, при отказе нескольких зерноуборочных комбайнов уборочно-транспортный комплекс продолжает работать с меньшей производительностью и большими удельными затратами. Если убирается пересушенное сено из валков прессованием, то его классность снижается из-за потери листочков травы.

Функциональный отказ, в результате которого наступает прекращение функционирования, довольно частое явление из-за погодно-климатических условий: из-за дождя останавливается сев, уборка зерновых и зернобобовых

и др.

В результате параметрического отказа происходит выход одного или нескольких параметров системы за установленные в научно-технической документации (НТД) пределы. Из-за отказа элементов системы (простые, аварийные, цепные) происходят собственные отказы системы в целом; вынужденный отказ обуславливается внешними условиями (погодно-климатические, изменения физико-химических свойств обрабатываемого материала: почвы, растений, удобрений и др.). Отказы по параметрам качества происходят по параметрам продукции и производительности. Например, повышенная влажность хлебной массы усложняет обмолот, растут потери, недомолот и необходимость остановки техники. Возможен отказ по затратам, что более вероятно для арендаторов и кооператоров.

Ребра графа – переходы объекта из одного состояния в другое. Переходы могут быть управляемыми, неуправляемыми и иметь вероятностную характеристику (ненадежные ребра). Приняли следующую классификацию переходов: *Д* – переходы из-за отказов элементов и переводящие систему в состояние с более низким уровнем работоспособности или более высоким объемом потерь. Например, отказ зерноуборочных комбайнов продлевает уборочные работы и соответственно растут потери зерна. *Н* – переходы обусловлены достижением пороговых значений накопленных отклонений. *В* – переходы обусловлены частичным или полным восстановлением работоспособности объекта. *К* – переходы определяются компенсацией накопленных отклонений [23].

На наш взгляд, физическая сущность происходящих процессов – в следующем. Объект исследований представляет собой совокупность множества существующих в пространстве-времени элементов (автомобилей, тракторов, сельхозмашин, их узлов, агрегатов, деталей, потоков обрабатываемых материалов, трудовых ресурсов). Движение указанных элементов можно было бы считать упорядоченным, в том случае, если исключено влияние случайностей: траектории перемещений упорядочены конкретным условиям сельскохозяйственного или перерабатывающего, расчет графиков эксплуатации машин и оборудования и экспериментальные наблюдения позволили нам сделать вывод о наличии характерных периодов в использовании техники.

К ним относятся: ранневесенний, весенний, весенне-летний, предуборочный, уборочный, летне-осенний и осенний. В соответствии с периодами в системе создаются структуры соответствующие каждому периоду технологических подсистем (см. рисунок 1.2).

1.3.4 Перечисленные способы управления системой относятся в основном к видам структурного управления, в т.ч. к реконфигурации структуры объекта (РКФ) – комплекса изменений структуры системы, обеспечивающей сохранение или повышение уровня работоспособности или уменьшение деструктуризации. Может быть реализован в процессе оперативного управления переходами из состояния в состояние элементов,

подсистем и системы в целом. Различается управление: основным производством, обслуживающими подсистемами, производственными элементами. Аварийная защита (АЗ) для сельскохозяйственного производства не характерна, однако система защиты технологических систем от отказов, приводящих к гибели выращенного урожая, может быть предусмотрена на базе теорий надежности и устойчивости путем математического моделирования экстремальных ситуаций.

Управление резервами (УР) – мероприятия по созданию в предшествующий период резервов и их введение в действие для сохранения заданного уровня работоспособности объекта. Например, перед летне-осенним периодом можно создавать необходимый для работы пахотных отрядов резерв ТСМ, запасных частей и агрегатов. Обоснование резервов целесообразно выполнять не только по данным предыдущей эксплуатации, но и на основе математического моделирования. Резервирование может быть: функциональным, информационным, временным, структурным, постоянным, динамическим, с замещением, скользящим. В свою очередь, структурное резервирование может быть функциональным, техническим, конструктивным [23].

Принятая планово-предупредительная система ТО и ремонта МТП предусматривает следующие управляющие переходные воздействия. Регламентированный (текущий, капитальный) ремонт с заданной периодичностью независимо от технического состояния машины.

Ремонт по техническому состоянию выполняется на основании его контроля или диагностики. В систему ТО входят также текущий ремонт по состоянию (эксплуатационный ремонт), периодические ТО, ТО при хранении, сезонные обслуживания. Техника обслуживается также при вводе в эксплуатацию и списании, в особых условиях эксплуатации. Из определений следует, что периодическое ТО обеспечивает *K* и *B* процесс в вероятностном смысле.

1.3.5 Основной с точки зрения надежности технологических систем является случайность существования ребер структур, что приводит к усложненным расчетам и необходимости статистического моделирования на ЭВМ. Однако в некоторых случаях возможно нахождение по простому пути оценок надежности применением метода «разрез двухполюсника».

«Разрезом двухполюсника» называют такое подмножество его ребер, удаление которых из графа разрывает все пути этого графа – отмечает профессор И.А. Ушаков. «Единственный разрез» имеет только параллельная система. В последовательной системе разрезом является любое непустое подмножество ребер, в том числе и все множество ребер системы». При анализе связности пользуются «минимальным разрезом», функция которого имеет вид:

$$\beta_к(x) = Ux_i = \bigcup_{i\in\beta}\overline{x}_i \ . \qquad (1.36)$$

Структурная функция двухполюсника выражается так:

$$\Phi(x) = \bigcup_{1 \le i \le M} \bigcup_{i \in \beta} \overline{x}_i \ , \qquad (1.37)$$

где M – число минимальных разрезов в графе.

Интересно отметить, что системы имеют монотонную структуру по определению Ф. Барлоу и Ф. Прошан.

В самом деле:

$$\Phi\ (1) = 1 \text{ работоспособное состояние}, \qquad (1.38)$$
$$\Phi\ (0) = 0 \text{ неработоспособное состояние}, \qquad (1.39)$$

где $\Phi(x) > \Phi(x)$ – понимается, как совокупность n условий $x_i > y_i$,

$i = 1...n$, причем хотя бы один раз неравенство выполняется строго.

Смысл (1.38) состоит в том, что повышение надежности элементов системы не ухудшает надежности исходной системы. Повышение надежности элементов может только повысить надежность системы в целом.

При оценке структур при значениях r = 0,5 более применима оценка Литвана–Ушакова в т.ч.:

наилучшая нижняя:

$$h_{лн} = \max\ [1 - \bigcup_{1 \le i \le M} (1 - \bigcup_{i \in K_j} r_i)\ ] \ , \qquad (1.40)$$

наилучшая верхняя:

$$h_{лн} = \min \bigcup_{1 \le S \le K} [1 - \bigcup_{j} q_i\ ] \ , \qquad (1.41)$$

где T – общее число различных подмножеств ребер но не пересекающих разрезов, соответствующих данному графу.

Известны и применимы для анализа структур систем также методы: "расщепления" ребер, эквивалентного замещения, Мура–Шеннона, усеченных рядов [23].

1.3.6 Общие методы построения моделей надежности систем основаны на построении их структур или на основе технологического процесса, или, если изначальная структура отсутствует, методами: анализа влияния отказов, анализа деревьев отказов [23].

Полученные в результате анализа структуры необходимо по возможности привести к более простым, построить соответствующий граф и найти оценки надежности различных вариантов структур. По критерию оптимальности, например путем, составления таблицы доходов, по МПД методу

М.В. Бубкова.

Основой для оценок служат результаты моделирования процессов, представленных в виде сетей СМО на основании опытных данных о законах функционирования.

1.3.7 Анализ описанных структур надежности применительно к показал следующее. При рассмотрении общей модели функционирования математические структуры по характерным периодам (ранневесенний, весенний, весенне-летний, предуборочный, уборочный, летне-осенний и

осенний) нами отнесены к классу сетей массового обслуживания.

Целесообразно рассматривать следующие структуры: производственные (техника механизированных бригад, звеньев, специализированных отрядов и комплексов), обслуживающие подсистемы (ремонтно-обслуживающая группа подразделений: участков технической эксплуатации), потоки заявок на обслуживание.

Источники заявок классифицировали следующим образом: работающий МТП – тракторы, комбайны и МТА механизированных бригад или звеньев; часть МТА участвует в полевых работах, в том числе в составе специализированных отрядов, не укомплектованных ремонтно-обслуживающими рабочими; уборочные машины – зерноуборочные комбайны, подготавливаемые к работе на арендном участке технической эксплуатации (машинном дворе); группа машин – специализированный отряд или другое формирование, в котором машины работают групповым способом, а их число известно и конечно: МТП закончивший работу; машины и орудия, требующие выполнения комплекса какого-либо комплекса операций хранения; неработающий МТП – техника производственного подразделения при массовом проведении ее планового ремонта.

В зависимости от периода изменяется входящий процесс, который был формализован либо как случайный *x*, либо как детерминированный *x*. Для производственного подразделения характерны следующие процессы: эксплуатационный ремонт и ТО машин на участке технической эксплуатации (ранневесенний, весенний, весенне-летний, предуборочный, уборочный, летне-осенний и осенний); ТО машин при хранении (во все периоды), эксплуатационный ремонт и ТО группы машин. Ввиду сложности ТО в уборочный период этот процесс формируется отдельной моделью. Допущения изложены в соответствии с теорией сложных систем [9, 13, 14].

1.3.8 Принципы и концепции построения структур должны учитывать новые условия хозяйствования, в которых целесообразна передача во вспомогательные подсистемы технологической системы средств механизации с последующей сдачей в аренду. Это связано со следующими причинами.

Вследствие сезонности полевых работ около 70% сельхозмашин работает не более 20 дней в течение календарного года. Расходы на содержание техники на балансе определяется в расчете на год. Это снижает экономические показатели: рентабельность, себестоимость продукции, фонд заработной платы. Следовательно, целесообразно не принятие на баланс всего технического комплекса, а формы его совместного использования. В США, странах ЕЭС известны следующие формы: машинные банки, машинные сообщества и кружки, кооперативы, станции проката, соседская помощь. Последняя широко распространена не только на Западе, но и у нас. Не являясь кооперацией, она служит формой обмена трудом. В сочетании с арендой и выделением крестьянских хозяйств образуются формы совместного использования МТП типа: проката, аренды, обмена машин на

время, в том числе машинные дворы, пункты проката техники, межхозяйственные отряды, комплексы, звенья [116].

Например, пункты проката сельскохозяйственной техники организованы в Юрьевско-Подольском и Муромском районах Владимировской области, арендные и хозрасчетные машинные дворы распространены на Северном Кавказе.

Если в сельскохозяйственном предприятии субъектами хозяйствования являются первичные кооперативы и арендные коллективы, то рекомендуется, по примеру частичной и полной производственной кооперации Западной Европы, с учетом особенностей коллективного хозяйствования, совместить хозрасчетный (арендный) машинный двор с пунктом проката техники.

Центральный технический комплекс хозяйства также может выступить в виде пункта проката сложных машин. Указанные инженерные объекты со временем могут быть преобразованы в предприятия, созданные на основе аренды и выкупа имущества трудовым коллективом, в том числе: общество с ограниченной ответственностью, предприятие (малое предприятие) с учредителем в лице сельхозпредприятия и т.д.

Для создания системы, работающей на основе экономических методов, было использовано противоречие интересов потребителей и исполнителей тракторных и ремонтно-обслуживающих услуг, в виде которых выступают субъекты хозяйственной деятельности.

1.3.9 Механизм функционирования реализуется через экономическую самостоятельность, ответственность за результаты труда, самоокупаемость, что возможно при оплате труда по остаточному принципу. Он состоит в том, что вначале формируются фонды: арендной платы, содержания сооружений и оборудования (ремонтной мастерской, пункта техобслуживания и др.), в последнюю очередь – оплаты труда и материального поощрения. Также работает финансовая система штрафных санкций, позволяющая вносить существенные изменения в размер фондов материального стимулирования и оплаты труда в зависимости от сроков и качества выполненных услуг. Исполнитель в качестве дохода получает деньги, оставшиеся на лицевом счете после оплаты начислений за аренду, топливо-смазочные материалы, услуги ремонтников, запасные части и пр. Субъекты хозяйственной деятельности наделяются правом формирования фондов. Взаиморасчеты ведутся внутрихозяйственными чеками (векселями). Связь с эффективностью и надежностью – финансово-экономическая, посредством учета: экономии живого труда, расхода материалов и энергии, качества работы, прямых и скрытых простоев техники, потерь от брака в работе.

В этом варианте взаиморасчетов снижение эффективности и надежности использования МТП "автоматически", через обратную финансово-экономическую связь, снижает доход субъектов хозяйственной деятельности. Однако последние должны обладать информацией, позволяющей работать с оптимальными показателями. Поэтому, как следует из теории систем, необходимо введение в структуру управления обратной информационной (по основному и вспомогательному производствам) связи,

являющейся подразделением инженерной службы. В этом случае инженерная служба сельхозпредприятия будет состоять из группы анализа (сбор, передача, обработка информации на ПЭВМ); лица, принимающего решения; субъектов хозяйственной деятельности (малых предприятий по ремонту, ТО, арендных коллективов, ремонтно-обслуживающих кооперативов и др.). Как отмечалось, в форме последних могут быть: машинные дворы, центральная ремонтная мастерская, гараж, служба снабжения, склады.

1.3.10 Машинные дворы должны занимать центральное место в системе экономических методов эксплуатации машин и оборудования, выполняя не только хранение, но и техническое обслуживание, и прокат техники. Они являются в одном случае потребителями услуг ремонтной мастерской, склада, гаража и других подразделений; в другом – выступают исполнителями по отношению к производственным участкам цехов растениеводства и животноводства. Продавая свою продукцию, то есть выдавая в прокат сельскохозяйственные машины по расчетным ценам за один час или гектар, машинный двор формирует следующие фонды: текущей оплаты в течение периода полевых работ, арендной платы, приобретения материалов, оплаты труда в осенне-зимний период, развития производства, материального поощрения.

Целесообразно, на наш взгляд, передача машинному двору процессов технического обслуживания для более эффективной загрузки оборудования и персонала, с последующим созданием предприятия (арендного, кооперативного, с ограниченной ответственностью) типа "машинный парк" с учредителем в лице хозяйства.

Предлагаемая структурная перестройка эксплуатации МТП позволяет сократить численность работников по причине высвобождения недостаточно загруженных. Так как руководители арендных и других хозрасчетных коллективов (заведующие ЦРМ, машинным двором) участвуют в трудовом процессе непосредственно, уменьшается численность управленческого персонала.

Улучшаются условия самофинансирования первичных арендных коллективов, так как они могут брать необходимую технику в прокат, а не приобретать или брать в аренду на год. Смягчается отрицательное влияние несоответствия роста цен и производительности сельскохозяйственной техники. Возрастает загрузка и снижается общая потребность в МТП по сравнению с вариантом закрепления (продажи) техники за арендаторами, первичными кооперативами, крестьянскими хозяйствами. Остаются возможности специализации в техобслуживании, ремонте, хранении и снабжении, подкрепленные новыми методами хозяйствования.

Отмеченная система, как известно, может базироваться на централизованной, децентрализованной и комбинированной системах технического обслуживания и ремонта. Централизованная (сервисная) система предлагается для обслуживания крестьянских хозяйств.

В этом случае ремонтно-обслуживающие воздействия выполняются

силами и средствами специализированной организации. В перспективе для обслуживания МЭС целесообразна система централизованного обслуживания типа МТС, с системой складов запасных частей различных уровней.

Резерв запасных частей по каждому виду необходимо обосновать для уровней: производственный участок, сельхозпредприятие, район, межрайонный (региональной).

1.3.11 Рекомендуется многомерная организационная структура централизованной системы для обслуживания МЭС и комплекса машин к ним. Такая система может обеспечить, в отличие от агротехсервисной, обслуживание не только крестьянских хозяйств, но и первичных сельхозкооперативов, сельхозпредприятий, ассоциаций, агрокомбинатов.

Система должна интегрировать в своей структуре предприятия (малые предприятия, товарищества, общества с ограниченной ответственностью и другие) предусмотренные новыми экономическими условиями, а также иметь подсистему управления надежностью и эффективностью организационных и технологических систем. Она должна обеспечивать обратную информационную связь на базе применения компьютерных технологий: возможность управления надежностью является достаточно вероятной при условии успешного решения задач моделирования процессов производственной и технической эксплуатации.

1.4 Предпосылки решения проблемы

Принятая научная гипотеза состояла в том, что предполагалась возможной разработка системных методов обеспечения надежности и эффективности функционирования машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий, исходя из физической сущности изучаемого объекта, на базе теории, обосновывающей концепцию решения данной проблемы.

В основу последней положены нижеперечисленные предпосылки.

1.4.1 Первая предпосылка, отражающая физику процесса, заключается в рассмотрении эксплуатации машин и оборудования как технологической системы, управление показателями надежности и эффективности которой является информационным процессом, влияющим на энтропию. Она обратно пропорциональна логарифму вероятности состояний системы. Если, к примеру, вероятность работоспособного состояния первой подсистемы W_1, второй – W_2, ... , последней – W_n, то вероятность работоспособного состояния системы определяется произведением или суммой логарифмов вероятностей отмеченных состояний.

Известно, что управление надежностью и эффективностью машин и оборудования есть процесс управления переходами системы из состояния в состояние. Вследствие низкой надежности техники наиболее вероятным является состояние функционального или параметрического (по причине

выхода из строя одной или нескольких подсистем) отказов системы. Они проявляются различными способами: отказ первой подсистемы, первой и второй подсистем, первой и третьей и т.д. Наименее вероятное состояние – отсутствие отказов, это состояние осуществляется единственным способом.

Система, как известно, практически не может самопроизвольно переходить из более вероятного состояния в менее вероятное. Следовательно, целенаправленный перевод системы из более вероятных состояний в менее вероятные должен обеспечиваться специальным процессом. Из теории управления известно, что этот процесс должен быть информационным. Он может осуществляться на основе математических моделей, отношения, между элементами которой соответствуют отношениям между элементами реальной технологической системы эксплуатации машин и оборудования.

1.4.2 Вторая предпосылка основана на разработках Дж. Неймана, касающихся создания более надежных систем из менее надежных элементов путем соответствующей организации избыточности. Математический анализ данной проблемы применительно к техническим системам выполнили Э. Мур и К. Шеннон, доказав, что из ненадежных элементов может быть построена сеть с любой наперед заданной надежностью [151].

Теорема Э. Мура и К. Шеннона, изложение которой отсутствует в литературе по надежности системы эксплуатации машин и оборудования, состоит в следующем. Пусть $hQ(p)$ есть кворум-функция сети, состоящей из n элементов. Пусть также имеется произвольная функция надежности сети $h(p) = 1$. Если $h(p) = p$ для некоторого p $(0<p<1)$, тогда $h(p) < p$ для $0<p<p$ и $R(p)>p$ для $p < p< 1$. Если для некоторого p , $0 < p < 1$ выполняется условие $h(p) = h(p)$, то:

$$hQ(p) < h(p),\ 0 < p < p, \tag{1.42}$$

и, наоборот,

$$hQ(p) > h(p) \text{ при } p < p < 1. \tag{1.43}$$

В случае правомерности применения для нашего объекта исследований изложенной теоремы, из элементов с недостаточной надежностью (тракторов, МЭС, перерабатывающего оборудования, сельскохозяйственных машин) может быть построена система их эксплуатации повышенной надежности, основанная на более совершенной организации сервиса.

1.4.3 Третья предпосылка – возможность рассмотрения объекта исследований как причинной сети. Действительно, как показал академик А.И. Берг, управление есть «процесс перевода системы в новое, заранее назначенное состояние путем воздействия на ее переменные», то есть под воздействием причинно-следственных связей система из предыдущего состояния переводится в данное, последующее и т.д. Универсальность принципа рассмотрения систем как причинных цепей разработана и доказана член-корреспондентом А.Н. Марковым.

1.4.4 Следующее необходимое условие – значимость влияния на эффективность технологической системы использования технических

средств показателей их надежности. Оно основано на: изложенном во введении фактическом материале и установленной профессором И.А. Шишонок закономерности усиления влияния сферы технической эксплуатации на эффективность при снижении надежности составляющих систему элементов. Таким образом, при снижении надежности тракторов и сельхозмашин возрастает роль мероприятий по обеспечению их надежности.

1.4.5 К первому достаточному условию следует отнести возможность повышения устойчивости показателей надежности системы путем введения обратной информационной связи. Если рассматривать эксплуатацию машин и оборудования как систему, то ее устойчивость в случае будет обеспечиваться за счет учета изменений выходных параметров и возмущений внешней среды. Понятие устойчивости в данном случае относится и к структуре, и к функциям технологической системы эксплуатации машин и оборудования [13,14, 44, 64].

1.4.6 Ко второму достаточному условию следует отнести накопленный опыт математического моделирования процессов технической и производственной эксплуатации МЭС и комплексов машин к ним, рассматриваемых как марковские цепи; причем наиболее интересно представление эксплуатации машин и оборудования в виде сети массового обслуживания.

Последняя представляет собой совокупность конечного числа обслуживающих подсистем, состоящих из одно- или разнотипных постов обслуживания. Если *A* – количество постов, то при *A = 1* систему называют однопостовой, при *A=oo* – бесконечной. Механизм функционирования сети характеризуется интенсивностью *m* обслуживающих работ.

Она зависит от количества объектов обслуживания $n_i(i = 1…m)$, находящихся в подсистеме.

Для системы, содержащей A_i одинаковых постов известно соотношение [68, 145, 146, 148]:

$$ni \cdot mi,\ 0 < ni < A, \qquad (1.44)$$

$$mi(ni) = (1.1)\ Ai \cdot mi,\ ni > Ai,\ i = 1, m. \qquad (1.45)$$

Если t_k – длительность обслуживания *k*-го требования, причем *k > 1*, случайные величины независимы и обладают идентичной функцией распределения *F(t)*, то имеет место рекуррентное обслуживание.

Обычно рассматривается случай, когда преобразование Лапласа функции распределения времени обслуживания является рациональной функцией вида [23]:

$$F[s] = E[s]/B[s]. \qquad (1.46)$$

В частности, известно, что преобразование Лапласа функции распределения Эрланга *k*-го порядка является *k*-кратной сверткой экспоненциального распределения со средним $1/(k_m)$. Для моделирования систем эксплуатации МЭС и комплексов машин к ним достаточно представить соответствующий процесс в виде графовой структуры, на вход которой поступают транзакты, обслуживаемые в сети по определенному

механизму. В общем случае структура наиболее рациональна, идентифицируется методом GPSS или ее аналогом: системой ПМДС.

1.4.7 Перечисленных предпосылок недостаточно для реализации мероприятий по обеспечению работоспособности систем использования МЭС, так как в рамках существующих способов управления не играли существенной роли уровень затрат и потери: продукции, рабочего времени, технологических материалов.

Предположительно эффективно внедрить системы надежности в сельскохозяйственных предприятиях позволят: новые экономические взаимоотношения субъектов хозяйственной деятельности, вновь образуемые структуры агротехсервиса, существующие и создаваемые средства механизации (МЭС и комплекс машин к ним).

1.4.8 Проблема обеспечения эффективности не требует дополнительных по отношению к перечисленным условий ввиду ее разработанности в теории эксплуатации машин и оборудования. И теория, и практика имеют достаточно фактов, подтверждающих возможность повышения эффективности эксплуатации машинно-тракторного парка.

Эффективные системы эксплуатации машин и оборудования создаются, как известно, на базе системного противоречия и целевой функции. Можно заметить, что системное противоречие состоит в том, что рекомендации по обеспечению эффективности рассматриваются на базе исследований детерминированных и стохастических систем с конечным числом альтернатив, однако реализуются в сельскохозяйственном производстве в виде систем, имеющих в своем составе творческих работников. Необходимыми условиями исследования эффективности также являются: изоморфизм моделей и процесса, обратная связь входных и выходных параметров, управление воздействием на главные факторы, декомпозиция, сочетание иерархии и самоорганизации.

1.5 Общая методология исследований

Эффективность сельскохозяйственного производства сельскохозяйственных предприятий значимо зависит от показателей использования средств механизации (эксплуатации машин и оборудования) в технологических процессах растениеводства и животноводства. Недостаточный уровень показателей надежности средств механизации (в первую очередь – безотказности) снижает надежность технологических процессов в целом.

Состояние промышленности не позволяет составить оптимистический прогноз изменения качества сельскохозяйственной техники. Постоянное снижение курса рубля снижает до минимума возможности приобретения зарубежной, на порядок более надежной, техники.

Альтернативный способ решения задачи повышения эффективности организационной системы эксплуатацию машин и оборудования – разработка

информационно-технологических структур, позволяющих минимизировать влияние недостаточной надежности техники и управлять показателями надежности и эффективности технологических системы ее использования в целом.

В соответствии со стандартом [89] под технологической системой понимали совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения (машины и оборудование), предметов производства (сырья для переработки, посевы сельскохозяйственных культур и их урожай, обрабатываемое поле, корма в процессе их производства и раздачи животным и др.) и исполнителей (операторов, машинистов, водителей, работников отраслей коммерческих организаций и т.д.) для выполнения в регламентированных (нормативно-технической документацией) условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Ее работоспособным считали такое состояние, при котором значения параметров и (или) показателей качества изготавливаемой продукции (производимого зерна, кормов, продукции животноводства и продуктов их переработки в сельскохозяйственном предприятии), производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технологической и (или) конструкторской и технологической документации (т.е. технологическим картам, калькуляции себестоимости продукции растениеводства и животноводства, рабочим планам, паспортным данным на средство механизации, агротехническим срокам для полевых работ и др.) [89].

Надежность данной системы предлагается оценивать такими показателями, как:

– вероятность безотказной работы технологической системы по производительности, затратам, срокам;

– вероятность выполнения технологической системой предусмотренного рабочим планом задания;

– вероятность выполнения технологической системой всего предусмотренного в характерный период сельскохозяйственных работ (ранневесенний, весенний, весенне-летний, предуборочный, уборочный и др.) объема работ в агротехнические сроки.

В изменяющихся условиях сельхозпроизводства целесообразно применение системных методов управления показателями надежности и эффективности технологических систем использования сельскохозяйственной техники [8, 58, 89].

При этом следует учитывать связь надежности и эффективности систем, так как и теория надежности, и теория эффективности позволяют выбирать оптимальные решения по структурам и механизмам функционирования систем, в т.ч. методам и средствам производственной и технической эксплуатации машинно-тракторного парка.

Исследования проводились в следующем порядке. Вначале типизировали общие принципы организации системы на уровне хозяйства-района (метод аналогий). Во взаимосвязи с выделением принципов организации описали выведенные из передового опыта и научных обобщений руководящие правила проектирования системы и разработать графическое описание структуры (экспертно-аналитический метод).

Затем уточнили систему цепей подсистемы, сделали анализ организационной обеспеченности (метод структуризации целей). После этого построили математические модели системы и выполнили ее обоснование в рамках натурного организационного эксперимента, а также осуществили сбор, анализ и обработку опытных данных об изучаемом процессе.

Процесс исследований закончили синтезом системы (рисунок 1.8) на основе следующих принципов:

- ориентация подсистем на решение одной или группы взаимосвязанных задач;
- взаимосвязь задач подсистем и их ориентация на выполнение цели проектируемой системы;
- технологическое обеспечение выполнения целей и задач подсистем и системы в целом: наличие всех необходимых для достижения целей и задач и отсутствие избыточных элементов;
- комплексная взаимная увязка деятельности подсистем на основе рационального разделения их полномочий на получение промежуточных и конечных результатов функционирования;
- обеспечение поточности, ритмичности и надежности всего производства;
- функционально-технологическая специализация подсистем по группам однородных операций;
- концентрация в системе и ее подразделениях всей полноты ответственности за конечные результаты по закрепленным за ними целям и необходимых полномочий по их реализации;
- поступление на вход таких видов сырья и материалов, для которых имеется возможность ритмичных, без сбоев, поставок;
- принципы декомпозиции должны по возможности допускать технологический разрыв в обработке выходного продукта следующей подсистемы;
- возможность автономного управления подсистемами в рамках поставленных управляющих органом оперативных указаний в условиях действия случайных погодных факторов и других внешних и внутренних возмущений;
- создание внутри системы ремонтно-обслуживающих мощностей и запасов ТСМ, сменных частей и узлов, подменных машин на уровне, обеспечивающем нормативный коэффициент технической готовности машинно-тракторных агрегатов;

- создание условий для маневра материальными и трудовыми ресурсами;
- введение единой централизованной системы автоматизированного планирования и оперативного управления системой;
- организационное обеспечение развития системы в связи с внедрением новой техники и АСУ в условиях ограниченных ресурсов;
- создание системы мер и мероприятий повышения эффективности, качества и дисциплины труда.

Главной задачей разработки и обоснования примерной структуры изучаемой системы было построение наглядной формальной модели, отражающей отношения между ее элементами и внешней средой.

Структурная модель в данном случае является многоуровневой. Конкретизацию структуры выполнили на всех уровнях исследуемой системы для получения полного представления об основных ее свойствах.

Уровни рассмотрения различаются по масштабу системы и сущности изучения структуры (организационной, управленческой, организационно-технологической).

Структуру разработали для решения вопросов: описания организации системы и построения ее структурной схемы, описания материальных и информационных связей.

При анализе структуры делили совокупность технических средств обеспечения технологических воздействий на предмет труда (почва, семена, растения), оптимальных по функции цели.

Методика построения структуры включала в себя:

- обоснование элементов (подсистем), необходимых и достаточных для достижения целей системы;
- выявление взаимосвязей элементов системы;
- конкретизацию целей подсистем в соответствии с целью систем;
- определение технических и материальных ресурсов, технико-технологического обеспечения рабочих процессов.

Если при анализе системы исходить из наличия или отсутствия связей между элементами, то объекту исследований можно поставить в соответствие неориентированный граф, вершинами которого являются элементы системы, а ребрами – существующие непосредственные связи между ними

На этом уровне исследований установили целостность, связность системы, выделили циклы, определили минимальные и максимальные последовательности элементов (цепей), разделяющих элементы друг от друга.

Изложенное обобщили в виде схемы. Систему выделили из окружающей среды, затем идентифицировали реальные связи как входные, выходные, управляющие, конструктивные, возмущающие.

Конкретизировав в соответствии со схемой принципы анализа и синтеза и аналитически описав критерий эффективности, получили все

необходимые материалы для анализа и синтеза структур организационной системы. Выделенные при этом производственные элементы и подсистемы исследовали вначале на моделях так, как проведение натурных экспериментов требует значительных неоправданных затрат, которые возможно не окупятся при внедрении разработанной системы.

Исследования предлагается выполнять в три этапа.

На первом этапе исследований целесообразно выявить системное противоречие и на его основе обосновать критерий эффективности. Последний должен учитывать затраты: на содержание подсистемы поддержания техники в работоспособном состоянии, штрафы за простои тракторов, машинно-тракторных агрегатов, мобильных энергетических средств и постов технического обслуживания, доходы от выполненной работы.

Поскольку процесс использования техники адекватно идентифицируется как система массового обслуживания (СМО), критерий эффективности может быть основан на следующих параметрах исследуемого процесса как СМО: среднее число занятых постов ($N_з$), среднее число свободных постов ($N_о$), среднее время ожидания обслуживания ($T_{ожс}$), параметры очередей на обслуживание и ожидание заявок на ремонт, техническое обслуживание и т.п.

Перечисленные параметры могут быть получены экспериментально, в результате наблюдений за производственным процессом, а также в результате моделирования (статистического, на основе соотношений теории марковских процессов и ее приложений).

Из теории массового обслуживания известны следующие соотношения для отмеченных параметров:

- среднее число занятых постов рассчитывается как сумма вероятностей (P_k) того, что обслуживанием занято k постов. Среднее число простаивающих постов определяется по формуле

$$N_о = n - N_з = (n - k)P_k; \qquad (1.47)$$

- коэффициенты простоя и загрузки постов соответственно определяют из соотношения

$$K_п = N_о/n^{-1};\ K_з = N_з/n^{-1}; \qquad (1.48)$$

- математические ожидания длины очереди и числа требований в системе соответственно рассчитываются по формулам:

$$M_{ожс} = (k - n) \cdot P_k при\ k > n; \qquad (1.49)$$

$$M_с = M_{ожс} + N_з\ . \qquad (1.50)$$

Анализ процесса эксплуатации машин и оборудования в системе с конкуренцией (например, ассоциация крестьянских хозяйств) позволил выявить следующие затраты и доходы: доход от обслуживания требований ($S_д$); штраф на инженерную службу за простой требования в очереди ($S_ш$); убытки из-за потери требования в случае его выполнения конкурентом ($S_{ук}$);

затраты на содержание (S_c) и эксплуатацию ($S_э$) постов обслуживания; ущерб от простоя поста обслуживания ($S_{уп}$).

Издержки за час работы n постов составляют величину $n \cdot S_э \cdot N_з$, за время обслуживания одного требования $S_э \cdot N_з \cdot T_{ожс}$.

Если за единицу времени поступает l требований и с вероятностью P_n загружено n постов, то требования в количестве $P_n \cdot S_{ук}$ получают отказ. Убытки от их потери составят за каждый час в среднем $S_{ук} \cdot P_n \cdot l$, в расчете на одно требование $S_у \cdot P_n \cdot l \cdot T$.

В случае оценки различных вариантов использования техники в одной системе издержки на содержание не включают эксплуатационные расходы и поэтому являются величиной постоянной.

Убытки от недоиспользования мощности обслуживающей подсистемы определятся произведением $N_о \cdot S_{уп} \cdot T_{ожс}$. С учетом перечисленных издержек и доходов, критерий эффективности для условий конкуренции записывается в виде следующей суммы:

$$S_к = S_э N_з + S_{ук} P_n \lambda + n S_{сп} + N_о S_{уп} + (1 - P_n) \lambda S_д \, T. \qquad (1.51)$$

Так как величина $n \cdot S_{сп}$ также не изменяется в данном варианте системы, то при перерасчете критерия на одно обслуженное требование его можно записать в виде:

$$S_к = S_э \, N_з + S_у \, P_n \lambda + N_о \, S_{уп} + \lambda S_д (1 - P_n). \qquad (1.52)$$

Если конкурирующей подсистемы нет, то нет и потерь требований из очереди, поэтому в критерий рекомендуется ввести издержки от простоя требования. В этом случае система характеризуется доходом от обслуживания требований и издержками: на содержание постов, их эксплуатацию и простой; обслуживание; от простоя требования в очереди. Доход можно дать в расчете:

- на время:

$$S_з = (\lambda \, S_д + n S_{сп} + S_э N_з + S_{уп} N_о + S_{об} M_з + S_ш M_{ожс}) T; \qquad (1.53)$$

- на обслуженное требование без учета постоянных для рассматриваемого варианта слагаемых

$$S_з = \lambda S_д + S_э N_з + S_{уп} N_о + S_{об} M_з + S_ш M_{ожс}; \qquad (1.54)$$

- для подсистемы обслуживания без учета материальных потерь других систем целевая функция имеет вид:

$$S_э = \lambda S_д + S_э N_з + S_{уп} N_о + S_ш M_{ожс}; \qquad (1.55)$$

- для обслуживаемой системы без учета затрат других систем

$$S_э = \lambda S_д + S_{об} M_s - S_ш M_{ожс} \, . \qquad (1.56)$$

Приняв один из критериев эффективности, на базе системного противоречия, принципов синтеза структур и технологии выполняемых работ, далее следует сформировать заданную целесообразную систему. При необходимости исследуется и оптимизируется технология механизированных работ, что является самостоятельным предметом исследований, выходящих за границы данной методики.

Синтезированная структура, как правило, имеет альтернативные варианты. Их существование связано с действием случайных факторов и

предопределяет принятие одного из известных принципов достижения требуемого результата: «гарантированного результата», «стохастического детерминизма», «последовательного снятия неопределенностей».

Если исследуется система с конкуренцией (например, ассоциация крестьянских хозяйств), для гарантии от банкротства принимается принцип «гарантированного результата».

Принцип гарантированного результата в терминах теории исследования операций формулируется следующим образом: при данном показателе надежности или эффективности необходимо получить максимально гарантированную величину заданного параметра при данной информированности исследователя. Иногда этот принцип называют «позицией крайнего пессимизма». Рекомендуется, применительно к задачам эксплуатации машин и оборудования, использование этого принципа для проектирования технологических процессов с практической гарантией требуемого уровня. Практическая гарантия позволяет реализовать процесс (например, в агротехнические сроки) с заданной вероятностью (уровнем гарантии).

Для государственных сельскохозяйственных предприятий со значительным числом единиц техники приемлем принцип «стохастического детерминизма».

Принцип стохастического детерминизма использует устойчивость результатов массовых явлений, к которым относятся операции производства сельскохозяйственной продукции и обслуживания тракторов, машинно-тракторных агрегатов, МЭС и комплекса машин к ним. Общие формы такой устойчивости нашли свое выражение в законе больших чисел и предельных теоремах теорий вероятностей и марковских процессов.

Этот принцип может получить использование для обоснования надежных (устойчивых по параметрам в течение заданного характерного периода полевых работ) систем эксплуатации машин и оборудования. Он реализуем при применении методов теории массового обслуживания и статистического моделирования.

Принцип последовательного снятия неопределенностей необходим в условиях недостатка информации о механизмах, лежащих в основе исследуемых процессов, когда ряд из них (погодные и биологические факторы, поведение исполнителей) не обладает свойством статистической устойчивости.

В этом случае в распоряжении исследователя нет решения, приняв которое можно было бы снять (компенсировать) всю неопределенность относительно результатов применения того или иного варианта системы эксплуатации машин и оборудования (то есть обеспечить гарантии на основе только первых двух принципов).

Принцип может найти применение для оперативного, на базе ПЭВМ, управления: подсистемой технической эксплуатации, производственными элементами, системой производства сельхозпродукции на различных уровнях.

На втором этапе исследований необходимо выяснить, какие знания о процессе (модели, закономерности, взаимосвязи) дополнительно необходимы для обеспечения надежности и эффективности процесса использования тракторов, МЭС, машинно-тракторных агрегатов на их базе, а также различных стационарных средств механизации в животноводстве и растениеводстве. Эти знания могут быть получены в результате экспериментальных (активный или пассивный эксперимент, исследование входных и выходных потоков) и теоретических, на базе идентификации технологической системы, исследований.

Опыт проведения исследований систем эксплуатации машин и оборудования позволяет нам рекомендовать выполнение идентификации методами теорий: марковских процессов, устойчивости, бифуркаций, статистического моделирования, надежности технологических систем.

Из аналитических методов наиболее целесообразно применение теории марковских процессов и ее приложений, которые позволяют разработать систему эксплуатации машин и оборудования с заданными показателями надежности и эффективности.

Построенная на марковских моделях теория восстановления устанавливает соотношение для распределения числа и момента восстановлений, времени возвращения, процессов накопления, моделей отказов, стратегий замен. Теория управления запасами на основе моделей теории массового обслуживания описывает точки заказа для ГСМ и обменного фонда запасных частей, резервные запасы и уровни обслуживания, межфазные (например, между операциями технологических процессов растениеводства: свал зерновых колосовых культур в валки – обмолот валков) заделы, а также запасы.

Исследование надежности альтернативных вариантов технико-технологических и информационных структур процесса использования техники может быть выполнено путем оценки альтернативных вариантов вероятностными методами. Оценки, например Эзари, Прошана, Ушакова и др., и их использование не описаны, так как они подробно рассмотрены в теории надежности.

Моделирование большинства производственных и обслуживающих процессов сельскохозяйственного производства наиболее рационально выполнять методом статистического моделирования.

К примеру, рассматривается техническая эксплуатация группы агрегатов на базе МЭС на базе применения теории сложных систем. В каждый момент времени $t \in T$ система находится в одном из возможных состояний $Z_i \in Z$. Состояние Z_i описывается числом МЭС в очереди на обслуживание (Z_1), числом свободных постов обслуживания (Z_2), числом МЭС на обслуживании (Z_3).

В моменты времени t_i в подсистему поступают заявки, описываемые наборами параметров $X_i \in X$, i = 1, 2, ..., где X_1 – X_4 – множество точек интервалов b (b = 1, 2, 3, 4; причем 1 – техническое обслуживание,

2 – текущий ремонт, 3 – работы по хранению, 4 – плановый ремонт), X_5 – множество точек интервала [0;1], X_6 – интервалов вариации точечных характеристик распределений параметров процессов.

Выход подсистемы – поток обслуженных тракторов, МЭС и агрегатов на их базе, а также комбайнов и других машин:

$$Y = \bar{Y}_1 \cdot \bar{Y}_2 \cdot \bar{Y}_3 \cdot \ldots \cdot Y_n . \qquad (1.57)$$

Наряду с X и Y обычно рассматривают множество управляющих параметров Γ (производительности постов ТО и текущего ремонта, количество постов, режим обслуживания, метод резервирования, уровень запаса). Множества входящих и управляющих параметров образуют пространство, называемое в теории сложных систем пространством обобщенных входных характеристик [55].

В нашем случае это пространство включает, помимо перечисленных управляющих параметров, входящий поток требований или заявок на обслуживание. Его характеристики: интенсивность потока заявок на ремонт или техническое обслуживание, средняя продолжительность обслуживания и др., – можно обозначить как $(t, X_l, G_m)T$. Состояние подсистемы в момент t_1 определяется предыдущим состоянием t_0 и $(t, x_l, G_m)t$, $t = (t_0, t_1)$. Множество X переводится во множество Z оператором H. Функционирование подсистемы технической эксплуатации в этом случая будет представлено в виде математического объекта, определенного множествами X, Y, Z, Γ, операторами H и G [55].

Указанный математический объект описывает технологическую систему как марковскую цепь состояний. Многофазовые системы обслуживания, к которым можно отнести механизированные процессы растениеводства и животноводства, в ряде случаев (уборка зерновых, посев пропашных) имеют вид сетей массового обслуживания: СеМО. При моделировании с использованием методов теории марковских процессов целесообразно применение вышеизложенных принципов: стохастического детерминизма и гарантированного с заданной доверительной вероятностью результата.

Однако многие задачи исследования надежности систем эксплуатации машин и оборудования имеют неполные и неопределенные исходные данные, поэтому возможно использование теории нечетких множеств в размыто-вероятностной трактовке. Гипотеза исследований состоит в выражении надежности через «размытую» функцию на базе априорной нечеткой информации. Для этого входящие и возмущающие факторы делятся на дестабилизирующие (a_1) и улучшающие (a_2) надежность.

К первым из них относятся: неоднородность обрабатываемой почвы или растений, нестабильность регулировок тракторов, сельхозмашин и др. средств механизации, погодные условия и др.

Техническое обслуживание, запасы деталей, межоперационные заделы, диагностирование, оптимальная многомерная структура улучшают надежность технологической системы и её элементов: машин и

оборудования, машинно-тракторных агрегатов (МТА). В этом случае при $a_1=0$ «размытое» событие: «будет отказ», – можно выразить через вероятность отказа в [0;t] и параметры x, y, z системы использования мобильных энергетических средств (МЭС) и комплексов машин к ним:

$$P_{отк}(t) = [1 - x_2(x, y, z, t)]\, f(t)dt. \quad (1.58)$$

Основополагающим моментом концепции, как отмечалось выше, является декомпозиция системы, когда вся система представляется в виде частных процессов: производственная и техническая эксплуатации. В свою очередь, последняя состоит из подсистем: техническое обслуживание, хранение, текущий ремонт, обеспечение запчастями, устранение отказов, ремонт и диагностирование техники в ремонтной мастерской.

Каждая из них характеризуется управляющими параметрами.

Для технического сервиса это длительность и периодичность обслуживания, состав и производительность используемого оборудования; для техобслуживания при хранении – состав средств механизации, режимом работы персонала. Обеспечение запчастями управляется воздействием на такие факторы, как уровень запаса восстанавливаемых и невосстанавливаемых деталей.

Устранение отказов в полевых условиях управляется производительностью, мобильностью и составом технологического оборудования, используемого ремонтным персоналом.

Результаты функционирования подсистем не являются аддитивной суммой параметров, так как системы эксплуатации машин и оборудования обладают свойством эмерджентности. По этой причине они описываются математическими моделями, отражающими такие свойства реальной системы, как стохастичность, динамику, структуру и механизм функционирования.

Третий этап исследований направлен на изменение методов функционирования инженерных служб в аспекте обеспечения надежности и эффективности организационных и технологических систем эксплуатации машин и оборудования.

Для обеспечения заданного уровня надежности и эффективности, в перспективе – преобразования инженерной службы по содержанию в подсистему обеспечения эффективности и надежности в рассматриваемой технологической системе должна быть реализована обратная отрицательная связь в составе: экономических мероприятий, алгоритмо-программного комплекса, ЭВМ и ее оператора.

Реализация этих мероприятий включает решение задач проектирования эксплуатационного обеспечения процессов растениеводства и животноводства.

Содержание задачи проектирования эксплуатационного обеспечения эксплуатации машин и оборудования на сельскохозяйственных предприятиях состоит в построении по изложенной в данной статье методике математического описания исследуемого процесса.

Математическое описание последнего позволяет не только моделировать различные (в т.ч. альтернативные) варианты средств и методов эксплуатации машинно-тракторного парка, но и управлять надежностью и эффективностью объекта исследований путем воздействия на его параметры: внутренние резервы времени, труда и средств; структуры управления и производственного процесса, временную избыточность операций полеводства, межоперационные запасы и заделы между операциями уборки урожая, весеннего сева и др., производительность постов обслуживания, подсистему снабжения запчастями. При этом рекомендуется использовать принцип последовательного снятия неопределенности.

Все задачи исследования технологических систем использования тракторов, комбайнов, мобильных энергетических средств и комплексов машин к ним можно разбить на пять групп по сложности и решаемым задачам. Первая из них связана с определением вероятностей состояний системы (отказа в обслуживании, загруженности всех элементов, нахождения в очереди не более заданного времени). В результате можно выяснить, справляется ли система с обслуживанием или нет, насколько велики потери в системе, вероятность отказа многофазовой системы и т.п.

Решение задач второй группы позволяет оптимизировать число средств обслуживания, производительность операций, количество постов обслуживания и режим их работы.

Решения задач третьей группы является обобщением результатов решения предыдущих задач: используя вероятности состояний и данные о структуре процесса, можно исследовать надежность и устойчивость процессов эксплуатации машин и оборудования. Задачи четвертой группы связаны: с выбором наиболее эффективных структур, обоснованием запасов, межоперационных заделов в технологических процессах производства сельхозпродукции; с исследованием эффективности средств механизации на стадии их создания и возможностью использования новой техники и технологии.

К перспективным следует отнести задачи, условно отнесенные к пятой группе: организация информационного обслуживания автоматизированной службы надежности и эффективности использования машинно-тракторного парка на сельскохозяйственных предприятиях.

Пример. Технологическая система эксплуатации машин и оборудования [89] на государственном сельскохозяйственном предприятии предназначена для обеспечения сезонных полевых работ и обладает следующими свойствами: комплектуется серийными средствами механизации, показатели экономической эффективности являются основными; значимо влияние случайных погодных факторов, имеется временная избыточность (между характерными периодами полевых работ), и ограниченная временная избыточность – во время характерных периодов полевых сельскохозяйственных работ. Потери от параметрических и

функциональных отказов тем выше, чем интенсивнее производство и сложность используемой техники.

Как правило, потери от простоев превышают стоимость используемой техники. Наиболее «узкие» места эксплуатационного обеспечения – сложность поиска неисправностей в новых моделях тракторов и зерноуборочных комбайнов, недостаток запасных частей, отсутствие системы методов обеспечения надежности.

Вначале исследования, описанного в примере процесса эксплуатации машин и оборудования, как сложной системы необходимо принять, на основе анализа процесса, один из приведенных критериев эффективности (1–10). Затем, на основе анализа, разрабатывается ее технологическая структура, соответствующая принятому критерию эффективности. В том случае, когда имеются альтернативные варианты структур системы, представленной как СеМО, по одному из принципов («гарантированный результат», «стохастический детерминизм», «последовательное снятие неопределенностей») с помощью оценок (Эзари, Ушакова и др.) выбирается рациональная структура.

Последняя может быть представлена в виде описанного абстрактного математического объекта и описана одним из известных методов моделирования. После формирования информационного обеспечения моделей (на основе эксперимента, наблюдений, расчетов) математическая модель исследуется как многофакторная, в результате могут быть получены обоснованные параметры, на их основании – спроектирована система эксплуатации машин и оборудования. Проект служит основанием для изменения методов функционирования инженерной службы, внедрения компьютерного управления процессами эксплуатации машин и оборудования.

1.6 Выводы

Система эксплуатации машин и оборудования в соответствии со стандартом [89] относится к технологическим системам, характеризуется многофазовостью, обменом с окружающей средой массой и энергией, состоит из множества вероятностных элементов; цель ее функционирования достигается в вероятностном смысле, по этой причине должна рассматриваться как энергоэнтропийная система, физическая сущность которой определена энергоэнтропийными законами: сохранения энергии; возрастания энтропии (Р. Клаузиуса и В. Томпсона); теоремой Нерста; предельного развития, преимущественного развития, что установлено ранеее в результате исследований [69]. Критерии эффективности энергоэнтропийной системы разделили на три группы: характеризующие материальную основу (основные и оборотные средства); отражающие структурно-функциональное строение (технология и структура МТП), трудовые ресурсы, а также внутренние и внешние. Критерий эффективности должен отражать процесс поддержания

уровня энтропии системы и подсистем в заданных пределах [63].

Основные теоретические разработки в сфере организации сложных систем основаны результатах качественного анализа динамических систем А. Пуанкаре (они выступают в качестве основы построения теории нелинейных колебаний и волн, теории бифуркаций и др.), сформированы на теории открытых систем и обратных связей Л. Берталанфи, на теории управления сложными системами и энтропийным процессом Н. Винера, нелинейности и открытости систем Г. Хакена, причем адаптивность системы определяется, помимо прочего, принципом Эшби (закон необходимого разнообразия): «всякая сложная системы стремится свести к минимуму эффект внешнего воздействия, сохранив при этом свою качественную определенность». В них отражены результаты, ставшие основой новой научной парадигмы – синергетической парадигмы, основанной на идеях самоорганизации, внутренней сложности системы, устойчивости функционирования во времени, многомерности динамического пространства функционирования, структурно-динамического баланса энтропии/негэнтропии (обеспечение возникновения структуры из хаоса :процесс самоорганизации начинается с нестабильного и неустойчивого состояния системы, которое служит базисным состоянием эволюции систем технического сервиса). Базисное состояние наблюдалось применительно к системе технического сервиса в конце прошлого века, система эволюционирует, начиная с состояния наибольшей энтропии (неопределенности) в 90-х годах по направлению к негэнтропии (порядку) циклично и волнообразно приобретая новые связи и перестраивая свою структуру)

Энергоэнтропийные процессы имеют циклы, соответствующие характерным периодам эксплуатации машин и оборудования и связаны с годностью конструктивных и неконструктивных элементов, описанной академиком А.И. Селивановым, а также выявленный ранее [64] «интегральный динамический цикл развития» и меры устойчивости.

Сложный характер функционирования системы эксплуатации машин и оборудования требует применения системных методов управления надежностью и эффективностью с учетом связи между показателями надежности и энтропией, так как применение иных методов не привело к существенным положительным результатам, что показано в монографии [59].

На существование связи между информацией и энтропией указал в 1929 г. венгерский ученый Л. Сциллард. Связь показателей надёжности и энтропии показана в работе [67]. Для снижения энтропии системы ТС на основе ресурсов сельхозтоваропроизводителей, специализированных логистических фирм и производителей МТП, основанной на механизмах самоорганизации [75], необходимо наличие критической массы элементов, обладающих новым качеством: такими элементом может быть информация.

Гипотеза исследования состоит в возможности управления надежностью системы эксплуатации машин и оборудования на

разработках Дж. Неймана, Э. Мура и К. Шеннона, причем существенным фактором повышения надёжности и снижения энтропии является информация.

При указанном подходе инженерная служба организационной технологической системы должна быть преобразована в службу управления надёжностью систем (система организации технического сервиса, предусмотренная стандартом [29]).

Системным противоречием рассматриваемой системы является конфликт интересов сельхозтоваропроизводителей, которые заинтересованы в повышении надежности МТП, сокращении объемов ремонтно-обслуживающих работ и стоимости технического обслуживания, ремонта и хранения (ТОРХ), и интересов предприятий оказывающих услуги сервиса: получение прибыли, увеличение объема реализации сервисных услуг, увеличение суммы прибыли, повышение рентабельности своей деятельности [66].

Так как в системе ТС лежит единство процессов самоорганизации и дезорганизации, сложности и разнообразия и т.д., причем синергия является определяющим свойством, её развитие есть процесс адаптации, эволюционный переход из одного качественного состояния в другое, когда действуют такие законы организации, как: взаимного дополнения противоположных процессов и функций, информированности и упорядоченности, композиции, пропорциональности, онтогенеза, «слабого звена», необходимого разнообразия, состязательности, экономии и рациональности, равновесия.

Характерной чертой системы ТС являются информационные поток, циркулирующие между уровнями её иерархии, оказывающие существенное влияние на процессы адаптации и самоорганизации. Принимая во внимание принцип Берталанфи: «Конечное состояние открытой системы не зависит от ее исходного состояния, а определяется особенностями внутренних процессов и взаимодействия со средой», можно с достаточной степенью достоверности утверждать следующее: степень организованности системы технического сервиса определяется наличием у ее участников информации, которая, способствуя снижению неопределенности, ограничивает рост энтропии: информация способствует переводу системы в более организованное состояние, противодействует дезорганизации и энтропии, приводит к упорядочению структуры, повышению эффективности функционирования. В своем развитии любая система эволюционирует начиная с состояния наибольшей энтропии (неопределенности) по направлению к негэнтропии (порядку) циклично и волнообразно [68] приобретая новые связи и перестраивая свою структуру. В период развития системы она накапливает негэнтропию. Источниками накопления является, наряду с энергией (механической, химической, электрической и др.), информация. Она, наряду с энергией, является основой самоорганизации системы. Периоды времени, в которых энтропия уменьшается, определяют

процессы самоорганизации и система адаптируется к условиям функционирования. Затем система достигает относительно равновесного, устойчивого состояния, которое может продолжаться достаточно длительное время; но накапливание дисбалансов, исчерпание энергии развития и изменение внешних и внутренних условий функционирования приводит к потере устойчивости, энтропия возрастает. Из элементов и подсистем распадающейся системы возникает новая система, начинаются процессы самоорганизации и снижения энтропии (см. рис. 1.2). Назовём данный аспект «цикл изменения энтропии системы»: информация, наряду с энергией, является основой самоорганизации. При этом существует несколько возможных траекторий (направлений) развития, одной из которых является самоорганизация. Траекторию развития назовём «интегральным динамическим циклом стохастической системы» [69]. В n- мерном пространстве состояний система может развиваться как прогрессивно, адаптируясь и эволюционируя, так и деградировать, а также оставаться в динамически стабильном состоянии (см. рис. 1.4).

В теории К. Левина в любой системе на нее действуют движущие и сдерживающие силы, их равенство определяет равновесие. Для развития системы необходимо нарушение этого равновесия, т.е. развивающиеся системы (в том числе и социально-экономические) являются неравновесными. Такое нарушении произошло одновременно с реформирование сельского хозяйства, и с того времени скорость эволюции системы ТС в АПК предопределяется структурой и качеством внутрисистемной информации, так как она способствует самоорганизации, снижению энтропии, накоплению негэнтропии, в конечном счете - переходу системы в более организованное состояние, приводит к упорядочению структуры, повышению эффективности функционирования.

Траектория развития системы ТС в АПК как сложной стохастической системы вследствие самоорганизации имеет вероятностный характер, «мгновенное» сечение траектории в момент времени *(t)*системы, имеет «ядро», «приядерного сгущение» и рассеянную оболочку. Это является следствием вероятностного характера протекающих энтропийных и негэнтропийных процессов. Влияние закона распределения Гауса определяет ядро, приядерное сгущение и рассеянную оболочку [64]. Параметры отмеченных зон характеризуются надежностью (что обеспечивает невыход основных параметров функционирования за границы устойчивости) её элементов и подсистем, которая обеспечивается двумя противоположно направленными тенденциями - адаптация с интенсивностью $\lambda(t)$ и дезорганизация с интенсивностью $\mu(t)$.

Эффективность функционирования системы ТС в АПК как сложной системы W и её состояние $\boldsymbol{Z}$ зависит от энтропии S, которая определяется интенсивностью самоорганизации системы $\lambda(t)$ и интенсивностью дезорганизации $\mu(t)$. Сервис уменьшает значение $\mu(t)$.Целенаправленное использование научных концепций, принципов и методов управления

развитием, интенсифицирует процессы самоорганизации, максимизируя скорость уменьшения энтропии, что показано в работе [27]

$$\frac{dS}{dt} \rightarrow max \quad (1)$$

$$S = f(E.I) \quad (2)$$

где: *E* – энергия, *I* – информация.

Ранее была установлено: энтропия коррелируется с минимальной эффективностью, так как оптимальные состояния системы ***Z*** соответствуют минимальному рассеиванию энергии и рациональному использованию ресурсов, она изменяется в соответствии с вероятностями состояний *z*, Суммарная энтропия двух систем возрастает, в точке экстремума энтропия системы с равновозможными состояниями равна логарифму числа состояний и имеет максимальное значение [67]. Полученный результат имеет физическое объяснение и математически находится как экстремум функции методом неопределенных множителей Лагранжа, в данной работе не приводится, как общеизвестное решение.

Из того, что конечное состояние ТС в АПК как открытой системы не зависит от ее исходного состояния, а определяется особенностями внутренних процессов и взаимодействия со средой (принцип фон Бенталанфи) , в условиях рыночной свободы на первый план выходят процессы самоорганизации и снижения энтропии посредством использования законов организации, как следствие теоремы Мура и Шеннона [9, с. 90].

Эффективность функционирования системы ТС в АПК как сложной системы *W* и её состояние *Z* зависит от энтропии *S*, которая определяется интенсивностью самоорганизации системы *λ(t)* и интенсивностью дезорганизации *μ(t)*. Сервис уменьшает математическое ожидание параметра *μ(t)* и уменьшает интенсивность отказов *λ(t)*.

Следовательно, эффективность системы технического сервиса как сложной системы определяется её организацией и управлением, что было показано ранее на примере организации хранения техники и оборудования в нерабочий период [61]. В соответствии с системным подходом и теорией организаций, функционирование подсистемы технического сервиса должна быть основана на использовании законов организации и принципов управления, причем как фундаментальных, так и базовых [70].

Основные особенности современного этапа – ориентация на инновационное развитие и импортозамещение [75], что достигается проведением маневренной инновационной политики, учетом вновь возникших факторов внешней среды, ориентацией на спрос потребителей услуг технического сервиса, ситуационный подход и признание социальной ответственности сельхозтоваропроизводителей.

Рассмотрели анализа и синтеза данной структуры.

С применением метода системного подхода выявили входные, управляющие, возмущающие и выходные параметры, классифицировали возмущающие параметры на технические, технологические и погодные;

рассмотрели с позиций теории надежности модели системы, в т.ч. интерпретировали структуру диаграммой Эйлера-Венна.

Физическая сущность управления эффективностью и надежностью сводится к структурному управлению (реконфигурация структуры в соответствии с характерными периодами); управлению резервами, сроками службы и т.д. Обоснование структур может быть выполнено по оценкам Литвана-Ушакова, методу М.В. Бубнова, эквивалентного замещения и др., причем основой оценок служат результаты моделирования как марковских сетей или сетей массового обслуживания – СеМО.

Обоснованы необходимые и достаточные предпосылки обоснования эффективной и надежной системы эксплуатации машин и оборудования на основе следствия теоремы Мура-Шеннона [71] и разработана общая методика системных исследований, основанной на том, что использование средств механизации (эксплуатации машин и оборудования) на государственных сельскохозяйственных предприятиях, реорганизованных в акционерные общества и товарищества, совхозах и колхозах, ассоциациях крестьянских хозяйств, является сложной технологической системой. Она оценивается взаимосвязанными показателями эффективности и надежности: недостаточная надежность сельскохозяйственной техники снижает эффективность и надежность системы в целом. Недостаточная надежность техники может быть компенсирована рационализацией структур и механизмов функционирования рассматриваемой системы на основе результатов исследований, которые предлагается выполнить в три этапа.

На первом этапе выявляется системное противоречие и на его основе разрабатывается критерий эффективности. Он служит основой для разработки альтернативных вариантов информационно-технологических структур системы эксплуатации машин и оборудования.

На втором этапе исследования проводятся эксперименты, хронометражные наблюдения; процесс представляется в виде абстрактного математического объекта и описывается математической моделью; выбирается структура из альтернатив с помощью оценок Эзари, Прошана, Ушакова; с помощью ЭВМ обосновываются режимы работы системы (механизм функционирования).

На третьем этапе системных исследований полученные результаты апробируются, корректируются, адаптируются к конкретным условиям и используются для изменения методов работы инженерных служб. Создаются соответствующие информационно-технологические структуры для управления надежностью и эффективностью систем эксплуатации машин и оборудования.

ГЛАВА 2 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ, ОРГАНИЗАЦИОННЫХ

И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1 Современные тенденции развития организации технической эксплуатации технологического оборудования

Совокупность мероприятий, направленных на приведение и поддержание объекта в работоспособном состоянии принято называть технической эксплуатацией, во время организации которой определяются такие факторы, как необходимый набор операций, их периодичность, необходимые материалы и трудовые затраты (персонал), экономическая эффективность, надежность и другое. Вопросы технической эксплуатации имеют производственно-технологический и научный аспекты [1, 2, 3], причем первый связан с разработкой принципов и концепций построения структур подсистемы обеспечения надежности и эффективности технологической системы использования указанных машин, создание органов ее управления; создание необходимых запасов ремонтно-технологических и топливо-смазочных материалов, подготовка персонала, подготовка производства, а научный – с созданием математических моделей, теоретических основ и методов управления надежностью и эффективностью использования машин [1, 2, 44].

Рассмотрим показатели надежности, проверяющиеся при эксплуатации зерноперерабатывающего оборудования, которая называется эксплуатационной надежностью и которая включает как само оборудование, так и организацию его эксплуатации. Под эксплуатационной надежностью машины в соответствии с действующим стандартом понимается ее способность сохранять работоспособность при использовании в течение определенного промежутка времени, а под нарушением работоспособности машины понимается остановка ее работы по техническим причинам (из-за поломки элемента, вследствие достижения предельного состояния и др.).

Несвоевременное техническое обслуживание приводит к простоям зерноперерабатывающего оборудования. В стране 112 мельниц общей мощностью 7 млн тонн муки в год дореволюционной постройки, 33 мельницы мощностью 2 млн тонн муки введены в строй в период с 1917 по 1945 г., остальные товарные мельницы, имеющие возможность вырабатывать 8,2 млн тонн муки, построены в 1945–1980 г. В крупяном производстве 30% мощностей эксплуатируются с 1917 года и около 14% – довоенной постройки. Половина заводов построены до 80-х годов прошлого столетия [32].

В последнее время наблюдается модернизация зерноперерабатывающих предприятий. Построены мельзаводы в Белгороде, ржаная мельница во Владимире, две мельницы по переработке твердой пшеницы в Челябинской области, проведена реконструкция мукомольного комбината «Воронежский», двух мельзаводов в Липецкой и Ярославской областях и других субъектах Российской Федерации (РФ) [32].

Надежность оборудования обеспечить довольно дорого, поэтому в нынешних сложных финансовых условиях отечественные производители вынуждены выпускать более дешевую, но менее надежную технику. Значительную часть зерноперерабатывающего оборудования выпускают предприятия, не имеющие в достаточном количестве квалифицированных кадров, оборудования, современных материалов, специального оборудования для упрочнения рабочих органов.

По причине отмеченных недостатков производственных процессов наблюдаются большие потери урожая и снижение качества продукции. Ежегодные потери зерна составляют около 20–25 млн тонн, в том числе при уборке – 4–6, обработке – 5–8 и хранении – 11 млн тонн [32, 36].

За последние 20 лет в связи с проведением реформ эксплуатация зерноперерабатывающего оборудования еще больше ухудшилась. Это объясняется следующими причинами:

- износ используемого оборудования на зерноперерабатывающем предприятии составляет 60–75%, при этом 41% оборудования требует списания по срокам амортизации. Мировому уровню соответствует лишь 20% оборудования [38, 57];
- выпускаются материалоемкое и низкокачественное зерноперерабатывающее оборудование, что приводит к их простою, увеличению сроков выполнения технологических операций;
- ощущается недостаток квалифицированных кадров; не разрабатываются и не осваиваются новые методы эксплуатации машин.

При многообразии форм собственности, разгосударствлении предприятий технического сервиса не соблюдается планово-предупредительная система ремонта и обслуживания машин, ликвидируются ремонтно-обслуживающие базы. В связи с этим функции технического сервиса изменяются. Поэтому его следует рассматривать как процесс обеспечения товаропроизводителей оборудованием в течение всего периода эксплуатации. Комплексное решение отмеченных вопросов является актуальной задачей, особенно для Южного Федерального округа (ЮФО).

Для того, чтобы наиболее полно представить действующую структуру организации ремонтов на изучаемых зерноперерабатывающих предприятиях, необходимо отметить известные структуры [62]:

- децентрализованная – при такой схеме все виды работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования производятся силами ремонтных подразделений, входящих в состав цехов основного производства;
- смешанная – часть работ выполняется силами специализированных цехов;
- централизованная – все виды работ выполняются силами специализированных цехов, входящих в состав основного производства.

На ремонтно-обслуживающих предприятий (РОП) и ремонтно-технических предприятиях (РТП), которые были организованы еще в годы

СССР, или на предприятиях, где основное звено технического и производственного ТОП-менеджмента составляют закаленные годами и опытом кадры с советским опытом организации ремонтов, являются или децентрализованными или смешанными.

Из практики передовых отечественных предприятий и ведущих зарубежных известно, что самой эффективной схемой организации ремонтов оборудования все-таки является централизованная схема; по такой схеме работают ведущие производители промышленного оборудования, имея в своей структуре сервисные подразделения, которые обеспечивают практически постоянное обслуживание производимого оборудования на весь срок его эксплуатации. В таком случае подсистема технического сервиса несет ответственность за качество выполненных ремонтно-обслуживающих работ, а также юридическую ответственность в случае неполадок; а предприятию-потребителю такого оборудования это дает уверенность в качестве выполненных ремонтов.

Если со сторонней сервисной службой все более или менее понятно, то на данный момент многие предприятия имеют на своем балансе оборудование, которое никто из сторонних организаций не берется обслуживать ввиду его износа, или оно не уникальное, или же его можно ремонтировать собственными силами ввиду его унификации.

Доказать преимущества централизованной схемы организации ремонтов можно тем, что при правильном подходе к организации ремонтно-сервисной службы на предприятии получаем наиболее высокий уровень обеспечения эксплуатационной надежности зерноперерабатывающего оборудования и еще ряд других преимуществ. На этапе планирования и организации такой службы главное правильно расставить приоритеты и желаемые результаты.

Система технического сервиса должна развиваться непрерывно в соответствии с изменением и обновлением зерноперерабатывающего оборудования. Рационализация системы технической эксплуатации предполагает создание системы взаимовыгодных отношений между предприятиями технического сервиса, способными в любое время и короткий срок с наименьшими финансовыми затратами обеспечить работоспособность оборудования и бесперебойную работу, и зерноперерабатывающими предприятиями как потребителями их услуг, а также внедрение на предприятиях систем управления надежностью.

Система технической эксплуатации включает ремонтно-технические предприятия, которые оказывают комплекс ремонтно-обслуживающих работ для эффективного функционирования зерноперерабатывающего оборудования, а система управления надежностью – обеспечивает требуемый уровень эксплуатационной надежности.

Эффективность работы системы технической эксплуатации заключается в обеспечении высокой технической готовности зерноперерабатывающего оборудования, а также снижении затрат на

поддержание зерноперерабатывающего оборудования в работоспособном состоянии.

Главная задача системы технической эксплуатации оборудования в современных условиях состоит в надежном и качественном обеспечении технологических процессов производства и переработки продукции в соответствии с требуемыми режимами, и с тем, чтобы исключить снижение потерь, ухудшение качества или порчу продукции, рост издержек на выполнение работ. Это практически невозможно без грамотной организации службы технического сервиса, роль которой заключается в создании условий для повышения эффективности ведения зерноперерабатывающего хозяйства, увеличения массы прибыли и рентабельности на этой основе возрождения и развития отечественного производства экологически чистой высококачественной продукции.

Подсистема технического сервиса в современных условиях охватывает комплекс услуг, оказываемых потребителю, поэтому развитие экономических отношений между производителями зерноперерабатывающего оборудования, зерноперерабатывающими предприятиями и сервисными службами должно осуществляться по следующим направлениям:

1) производители технических средств, запасных частей, узлов и агрегатов к ним, должны быть экономически заинтересованы в установлении таких взаимоотношений с потребителем производимых ими средств через систему сервисных служб, которые позволили бы им утвердиться на рынке сбыта и обеспечивали экономические условия для развития производства;

2) сельскохозяйственные товаропроизводители часть прибыли от реализации продукции передают в сферу сервисных структур через механизм цен на оказываемые услуги;

3) целесообразно разработать экономические механизмы и создать организационные формы, побуждающие производителей зерноперерабатывающего оборудования и сервисные службы одновременно с продажей машин решать вопросы о поддержании их в работоспособном состоянии, то есть обеспечивать надежность, стабильность и безотказность соблюдения технологических регламентов, являющихся важнейшими условиями достижения высоких производственных и экономических результатов функционирования объектов и отдельных отраслей зерноперерабатывающего хозяйства.

Увеличение мощности зерноперерабатывающих предприятий с применением систем автоматизации и компьютерным управлением создает предпосылки для введения таких структур управления, в которые включены вопросы управления надежностью на предприятиях.

На практике такие структуры в явном виде не присутствуют, работы по техническому сервису выполняются нерегулярно, в аварийном порядке, когда складываются аварийные ситуации.

Отсутствуют современные рекомендации по практическим вопросам управления надежностью на зерноперерабатывающих предприятиях.

Также отсутствует специализированное программное обеспечение для управления надежностью, алгоритмы, требуют совершенствования механизмов функционирования, иерархия и структура подсистемы управления эффективностью и надежностью зерноперерабатывающим оборудованием. ГОСТ Р 27.001-2009 «Надежность в технике. Система управления надежностью» [88] выдвигает требования по созданию системы управления надежностью на предприятиях, в том числе зерноперерабатывающих. На практике зерноперерабатывающей отрасли этот ГОСТ не реализован.

2.2 Требования к подсистеме обеспечения надежности, в связи с усложнением конструкции оборудования

Современные зерноперерабатывающие предприятия представляют собой высокопроизводительные сложные технические системы с высокой стоимостью [60]. Простои системы вызывают снижение выпуска продукции, недополучение прибыли, нарушение договорных поставок.

Например, производительность мельничных систем «Start-Mill» – до 1000 тонн в сутки (42 т/час), если в неработоспособном состоянии она будет находится всего пять минут в час, то потери производительности составят 84 тонны, или около 70 тонн муки, в стоимостном выражении потери составят – 1,75 млн руб. в сутки или 630 млн руб. в год (или 21 млн дол. в год).

Первоочередной задачей для высокоэффективной работы зерноперерабатывающих предприятий является внедрение новейших технических решений, связанных с управлением эксплуатационной надежностью и обеспечением автоматизации технологических процессов производства зернопродуктов.

Усложнение конструкции оборудования и инновации, применяемые в зерноперерабатывающей отрасли оказывают свое влияние на организацию технического обслуживания и ремонта. Это выражается тем, что в результате непрерывного применения более сложного технологического зерноперерабатывающего оборудования, работы по их ремонту значительно усложняются. Одновременно, более высокая эксплуатационная надежность и долговечность нового современного оборудования ведут к уменьшению объема ремонтных работ, но только в том случае, если качество деталей, применяемых при ремонте оборудования, не ниже качества деталей, из которых оно было первоначально собрано. Поэтому, высокие показатели эксплуатационной надежности зерноперерабатывающего оборудования должны соответствовать его техническому уровню.

В ряде зерноперерабатывающих предприятий интенсивно решается проблема модернизации машин, заключающаяся в ремонте и замене конструктивно слабых узлов и агрегатов современными. Это

предусматривает централизованное восстановление изношенных деталей, осуществляемое с помощью новейших методов и средств, в основном на специализированных предприятиях, с обеспечением ресурса деталей на 100% и более от ресурса новых, при одновременной себестоимости этого процесса до 50% от стоимости новых [41, 55, 97].

Важным вопросом обеспечения эксплуатационной надежности машин, тракторов, перерабатывающего оборудования остается компьютеризация сбора, обработки информации, расчета параметров систем сервиса. Система технической эксплуатации ориентирована на применение для этих целей персональных компьютеров с разработанными ГНУ ГОСНИТИ комплексом прикладных программ ТУРБО НЭК. Программы позволяют решать большое количество задач управления техническим состоянием оборудования с учетом хозяйственных условий. Состояние наблюдаемого оборудования описывается изменением его параметров, являющимися случайными функциями наработки. Через определенный промежуток времени наблюдаемый объект подвергается контролю и при повышении допуска его предупредительно восстанавливают. При росте показателей состояния предельного значения наступает постепенный или внезапный отказ – фактический выход элемента из строя, а в ряде случаев его поломка. В этом случае элемент ремонтируют или заменяют. По истечении срока службы оборудования в целом его снимают с эксплуатации, модернизируют или списывают [122].

Таким образом, на основании выше изложенного, установили, что появление на рынке нового современного сложноконструктивного зерноперерабатывающего оборудования требует нового подхода к организации технического сервиса и внедрение систем управления надежностью на зерноперерабатывающих предприятиях.

Переработка зерна в основном сосредоточена на крупных предприятиях, которые имеют финансовые и технические возможности создания систем управления надежностью в соответствии с действующим ГОСТ Р 27.001-2009 «Надежность в технике. Система управления надежностью» [29]. Однако требуется доработка теории управления надежностью и эффективностью применительно к зерноперерабатывающему производству.

2.3 Теория и методы управления надежностью и эффективностью функционирования оборудования

Ранее выполненные исследования [3, 6, 34, 111, 112, 110] по теории и методам управления надежностью и эффективностью зерноперерабатывающего оборудования в условиях плановой экономики не потеряли своей актуальности сегодня. Однако они требуют существенной корректировки с учетом особенностей функционирования зерноперерабатывающих предприятий в условиях рынка. Отсутствие обоснованной стратегии повышения надежности и эффективности

функционирования зерноперерабатывающего оборудования требует разработки новых подходов к организации рациональных форм технического сервиса в условиях рынка.

Выбору направления развития и размещения зерноперерабатывающих предприятий, обоснованию средств и другим вопросам посвящено большое количество работ, выполненных еще в 1970–1990 гг. в научно-исследовательских и других институтах и организациях, например, ГОСНИТИ, СКНИИМЭСХ, Челябинский ИМЭСХ и др. При этом основное внимание уделялось научно-обоснованной организации технического сервиса.

Вклад в науку о техническом обслуживании при решении задач методического, технологического и организационного характера внесен учеными Г.В. Веденяпиным [17], В.И. Казарцевым, С.А. Иофиновым [47], И.С. Левитским [73], С.С. Черепановым, М.Я. Рассказовом [107, 108, 109], Ю.А. Конкиным [55], А.П. Соломкиным [123], И.Е. Ульман [136] и др.

Вопросы совершенствования механизма взаимоотношений в аграрном секторе исследовали ученые Н.И. Агафонов [2], Ю.Н. Артемьев [6], В.М. Юдин [11], Н.В. Валуев [15], В.П. Димитров [34, 35], В.Н. Краснощеков [57], А.Э. Северный [113], В.М. Михлин[83], В.И. Черноиванов [146, 147], М.И. Шишкин, А.К. Осипов, К.В. Павлов и др. Однако, большинство исследований выполнены в доперестроечный период и в полной мере не учитывают сложившееся кризисное состояние ремонтных служб сельскохозяйственных предприятий и не обеспечивают комплексное решение проблемы.

Значительно сократились научно-исследовательские работы в области ремонта и обслуживания. Механизмы организационно-экономических отношений, ремонтных предприятий с заказчиками практически остались вне научной сферы ввиду перехода к рыночной экономике, хотя это непосредственно оказывает влияние на управление надежностью и эффективность функционирования оборудования.

Несмотря на повышенный интерес к проблеме ремонта и обслуживания зерноперерабатывающего оборудования отсутствует теоретически обоснованное мнение по многим вопросам. В частности, пока еще не разработан критерий эффективности управления ремонтной службой, велика доля субъективизма в оценке качества ее функционирования, а вследствие этого, затруднено экономически обоснованное планирование ремонтных работ, определение ресурсов, необходимых для обеспечения достаточного уровня эксплуатационной надежности зерноперерабатывающего оборудования, а также затрат, связанных с использованием сырья, материалов, запасных частей и др.

Современные условия функционирования системы технического обслуживания и ремонта машин требуют от нее подержания работоспособности и надежности оборудования на заданном уровне при снижении затрат на ее содержание. В работе Ю.В. Мальцева [79] в качестве критерия минимизации принят минимум приведенных затрат на ремонт и

обслуживание машин и потерь от простоев на устранение последствий отказов. В результате решения задачи получены значения мощностей ремонтных мастерских и составлены номограммы для расчета рациональной структуры объектов ремонтно-обслуживающей базы. Но в работе рассматривается только текущий ремонт. Использовать эту методику для всех видов ремонтных работ нельзя, так как не учитывается их рациональное распределение в зависимости от технологической ремонтосложности и эффективности капиталовложений на реконструкцию и развитие ремонтно-обслуживающей базы/

Для управления надежностью и эффективностью функционирования зерноперерабатывающего оборудования практически отсутствуют необходимые инструменты, позволяющие использовать современные математические методы и информационные технологии для организации структуры ремонтной службы предприятия. Представляется целесообразным применение методов системного анализа, теории марковских процессов [62]. Информационное регулирование направлено на перевод системы из более вероятного состояния (отказа) в менее вероятное состояние (эффективной работы) на основе математического моделирования [15, 18, 19]. Такой подход позволит решить задачу управления надежностью и эффективностью эксплуатации оборудования, в данном случае зерноперерабатывающего.

На основе моделирования решается целый ряд проблем, в том числе связанных с оптимальным размещением ремонтно-обслуживающих предприятий при отсутствии таковых.

Рассмотренные методы математического анализа и исследования операций позволяют сделать вывод о том, что оптимизация размещения ремонтно-обслуживающих предприятий должна быть направлена на снижение непроизводительных потерь времени и средств клиентов (транспортировка машин и оборудования, ожидание в очереди), что способствует повышению спроса, качества обслуживания и территориальной доступности ремонтно-обслуживающих работ. Окончательное решение об использовании того или иного метода наиболее приемлемого для расчета системы размещения ремонтных предприятий, должно быть принято после исследования адаптации каждого из них к условиям принятой имитационной модели [79].

М.И. Лернером [74] решена задача оптимизации базы для выполнения технического обслуживания и устранения отказов методом статистического моделирования на ЭВМ. Исходя из случайного характера поступления требований на данный вид обслуживания, времени обслуживания, пространственного расположения объектов обслуживания и технико-экономических данных средств технического обслуживания разработана методика выбора оптимального количественного состава базы обслуживания для конкретных условий предприятия. В качестве критерия оптимизации использован функционал, отражающий совокупные издержки предприятий, связанные с простоем машин по техническим причинам, при использовании

стационарных и передвижных средств с учетом загрузки этих средств. Но при этом не учитываются себестоимость выполнения различных видов работ по техническому обслуживанию и ремонту, их ремонтосложности, качество, транспортные издержки и эффективность требуемых капиталовложений. Использование данного функционала для оптимизации подсистемы технического сервиса требует наложения дополнительных ограничений и оговорок по приведенным показателям.

В СКНИИМЭСХ под руководством академиков РАСХН М.С. Рунчева и Э.И. Липковича на базе применения математического моделирования и ЭВМ разработаны методы управления сложными технологическими процессами, но не разработаны теория и методы управления надежностью и эффективностью функционирования зерноперерабатывающего оборудования.

При решении данной проблемы представляется наиболее целесообразным использование метода имитационного моделирования. Над разработкой таких методов в АПК фундаментальные работы выполнили профессора
Ю.Н. Блынский, В.Д. Игнатов, А.И. Бурьянов и др.

Оптимизация инвестиций и направление их в сферу ремонта и технического обслуживания связана с использованием резервов оборудования. На повышение эксплуатационной надежности, позволяющую увеличить работоспособность, безотказность, срок службы оборудования и эффективность его эксплуатации, неоднократно обращали внимание академики В.М. Кряжков, Н.В. Краснощеков, М.С. Рунчев, А.Э. Северный, С.С. Черепанов.

Методы решения различных практических задач надежности изложены в работах В.Б. Гнеденко, Ю.К. Беляева, А.Ф. Соловьева, Р. Барлоу, Ф. Прошана и др.

Методы выбора количественных характеристик и инженерные методы расчета надежности машин изложены в работах [6, 44, 58, 142]. Различные методы исследования на надежность и обработки результатов предусмотрены специальными ГОСТами и ОСТами, а также предложены в работах [65, 66].

Применительно к сложным производственным процессам, какими является подсистема переработки зерна, вопросы эксплуатационной надежности зерноперерабатывающего оборудования, необходимо рассматривать в связи с повышением эффективности деятельности зерноперерабатывающих предприятий [8, 13, 14, 64, 68, 69].

Теорию надежности использовали в качестве теоретической базы для обоснования системы ремонта и ТО ведущие ученые в данной отрасли наук: академики А.В. Веденяпин [17], Г.П. Лышко, Б.С. Свирщевский, М.С. Рунчев, С.С. Черепанов, И.Е. Ульман [136], В.Ф. Тельнов, Б.Ф. Павлов [95], М.Я. Халфин и другие.

В современном исследовании повышения эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов Д.В. Симон решил задачи:

- разработать модель эксплуатационной надежности зерноуборочного комбайна;
- разработать метод управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов;
- разработать методику управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов.

Объектом исследования выступили методы управления надежностью в процессе эксплуатации зерноуборочных комбайнов, а предметом - эксплуатационная надежность зерноуборочных комбайнов.

Д.В. Симон использовал методы стратегии управления эксплуатационной надежностью, основанные на использовании теоретических законов распределения и теории массового обслуживания; адаптация трехуровневой системы снабжения запасными частями «Speed»; мониторинг работы зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации; информационные технологии ABC (XYZ) при формировании базы данных отказов зерноуборочных комбайнов; модульный принцип построения сроков технического обслуживания, основанный на статистической обработки результатов испытаний зерноуборочных комбайнов.

Выдвинутая рабочая гипотеза (повышение эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов за счет обоснования модульного принципа сроков технического обслуживания) была решена разработкой методов повышения эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов на основе синтеза модульного принципа сроков проведения технического обслуживания, трехуровневой системы обеспечения потребителей запасными частями на базе информационных технологий. технического сервиса машин АПК», проходящая адаптацию в дилерской организации ООО «Бизон» и ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш»» (Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ, 2010615265 РФ).

Основные результаты соискателя Д.В. Симона [121]:

- теоретическое обоснование модели эксплуатационной надежности зерноуборочного комбайна, основанной на модульном принципе технического обслуживания;
- теоретическое обоснование метода управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов, построенного на модульном принципе технического обслуживания и трехуровневой системе доставки запасных частей;
- методика управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов, основанной на модульном принципе технического обслуживания и трехуровневой системе доставки запасных частей.

На основе сформированной базы данных, разработаны алгоритм и написана программа оптимизации трехуровневой системы складского хозяйства предприятий технического сервиса на языке программирования Visual Basic Applications, с использованием принципа Парето и модернизированной классификации ABC (XYZ). Программа оптимизации трехуровневого складского хозяйства для ЮФО и РФ зарегистрирована в Российском бюро под №2009615113.

Разработана методика оптимального распределения по территории РФ предприятий технического сервиса, основанная на статистических данных субъектов РФ (количества сельскохозяйственных машин, территории, посевной площади и др.) для работы в режиме on-line. Выявлены перспективные зерносеющие зоны субъектов РФ, в которых следует развивать производство зерновых культур и создавать дилерские предприятия технического сервиса. Научно обоснован выбор наиболее перспективных мест размещения 84 предприятий технического сервиса (дилеров) в РФ и 8 мест для региональных складов. Разработана методика оптимизации складского хозяйства предприятий технического сервиса, которая базируется на компьютерной программе и позволяет рассчитывать в режиме on-line запасы запасных частей, с учетом модели машины и срока ее службы, для центрального, региональных складов и складов дилеров [144].

На основе проведенного анализа литературных источников можно сделать вывод о том, что во всех ранее выполненных работах не учитывается изменение форм собственности производственных связей зерноперерабатывающих предприятий и ремонтно-обслуживающих предприятий, появление частных зерноперерабатывающих предприятий, развитие фирменного технического сервиса. Важно обратить внимание на специфику работы зерноперерабатывающего оборудования, на его стационарность и практически круглогодичную работу. Современные условия функционирования оборудования требует разработки научной теории и методов управления его эксплуатационной надежностью и эффективностью использования. Требуется адаптация и совершенствование теории ТС применительно к нашему исследованию, совершенствование системы управления надежностью посредством компьютерных технологий моделирования.

2.4 Управление надежностью и эффективностью перерабатывающего оборудования за рубежом

Интересы продовольственной безопасности ведущих мировых государств направлены на устранение импортзависимости, навязываемой мировым зерновым рынком. Указанная проблема решается применением систем эксплуатации машин и оборудования, имеющих механизмы обеспечения эффективности и надежности. Как следствие, встает вопрос об обеспечении надежности зерноперерабатывающего оборудования и повышении его эффективного использования.

Целесообразно рассмотреть положительный зарубежный опыт эксплуатации машин и оборудования в сельском хозяйстве и организации ремонта и технического сервиса машин. Необходимость подобного анализа также связана с тем, что в АПК России эксплуатируется более 70 тысяч зерноперерабатывающих машин импортного производства. Предприятия по переработке зерна отдают предпочтение в приобретении импортного

оборудования по сравнению с отечественным, как более совершенного и надежного.

К сожалению, в нашей стране на сегодняшний день, машины и оборудование эксплуатируются «по наработке». В западных странах переход от эксплуатации «по наработке» к эксплуатации «по состоянию» давно внедрен в производство.

Еще в 1990–1995 гг. в американской экономике около 75% добавленной стоимости, создаваемой в промышленности, обеспечивалось использованием информационных технологий. Современный этап развития информационных технологий связан с CALS-технологиями (Continuous Acquisitionand Life Cycle Support), то есть с использованием технологий непрерывной информационной поддержки жизненного цикла машины. Использование CALS-технологий в производственном процессе ремонта и обслуживания технологического оборудования должно позволить оптимизировать и значительно снизить затраты на исполнение ремонтных технологий. С их помощью в организации ремонтной службы оборудования можно оптимизировать один из самых непрогнозируемых компонентов затрат при ремонте оборудования – длительность простоя оборудования в ремонте [39].

Многие страны уделяют первоочередное внимание собственному производству оборудования. Так, в КНР ежегодные закупки оборудования превышают пять млрд долларов США, в том числе 3,5 млрд (70%) приходится на закупки оборудования собственного производства. В России при ежегодных объемах закупок оборудования около двух млрд долларов, лишь 10% приходится на закупки отечественных машин сельскохозяйственного назначения. Интересен опыт Беларуси, где зерноперерабатывающему предприятию выделяются бюджетные средства на приобретение оборудования белорусского производства, а закупки по импорту предприятия ведут за счет собственных средств [72]. Один из главных принципов организации системы технического сервиса за рубежом состоит в том, что «кто производит, тот и обслуживает», но при этом к сервису широко привлекаются и другие предприятия и фирмы. Технический сервис за рубежом предусматривает не только реализацию и техническое обслуживание оборудования, но и предоставление других услуг. К ним относятся: предпродажная подготовка оборудования, доставка покупателю, реализация запасных частей, гарантийный и послегарантийный ремонт оборудования, в том числе бывших в эксплуатации, прокат машин, учеба операторов, а также выполнение механизированных работ по соглашениям.

Для претворения в жизнь вышеуказанного принципа организации агросервиса за рубежом фирмами в регионах создаются фирменные сервисные предприятия по проведению технического обслуживания и ремонта оборудования зерноперерабатывающих предприятий. Именно фирменный технический сервис на протяжении всего срока эксплуатации оборудования помогает фирмам-изготовителям этих стран управлять его

надежностью и эффективностью функционирования на протяжении всего срока службы (США, Германия, Франция, Италия и другие).

Самой распространенной формой технического сервиса в США является дилерская. В странах Западной Европы система агросервиса отличается от дилерской системы США. Технический сервис в США основан на приспособленности к пожеланиям фермеров. Он может бесплатно заменить машину в течение первого периода эксплуатации, во втором периоде получить взамен новую машину с 50% скидкой, заменить бесплатно вышедшие из строя узлы, агрегаты, детали. То есть, дилер не только обслуживает оборудование, но и торгует ими, причем объем ремонтных работ снижается [62, 63, 64]. Организация технического сервиса оборудования в каждой из стран имеет свою особенность, которая продиктована уровнем развития сельскохозяйственных технологий производства, климатическими и другими условиями.

В течении гарантийного срока машина ремонтируется бесплатно, как правило, на время ремонта взамен предлагаются аналогичные машины и возмещаются убытки фермеру. Дилер является единственным посредником между изготовителем и потребителем машин. Он, прежде всего, является непосредственным представителем фирмы-изготовителя машин. Между ними заключается договор на обеспечение фирменного гарантийного и послегарантийного технического обслуживания и ремонта машин фирмы. В гарантийный период дилер бесплатно выезжает к фермеру и бесплатно делает техническое обслуживание. Однако фермер сам не может делать ремонт и техническое обслуживание под страхом отмены гарантии. После истечения срока гарантии он может воспользоваться услугами сервиса дилера или ремонтировать и обслуживать собственными силами, однако фирмы в сопроводительных документах запрещают фермеру вскрывать узлы машины самостоятельно. В Германии, к примеру, зерноперерабатывающие предприятия имеют возможность неделю пользоваться машинами бесплатно, прежде чем купить ее. Гарантия дается и на машину и на запасные части. Уникальные гарантии предоставляет фирма IBM. Она дает пожизненную гарантию и просит лишь позвонить в случае неисправности в США или Канаду [62, 63, 64]. В то же время дилер является экономическим и юридическим самостоятельным лицом, владельцем сооружений и других средств по техническому обслуживанию и ремонту машин фирмы, которые он приобретает у нее со скидкой для реализации и обслуживания ее техники.

Дилер (отдельные предприниматели, корпорации, межфермерские корпоративы и ассоциации, фермеры) не только выполняют работы по техническому обслуживанию оборудования, но и продает их. Дилеры продают около 60% запасных частей от общего объема их потребления. Запасные части изготавливаются по технологии фирм-изготовителей зерноперерабатывающего оборудования, 90% фирм имеют своих дилеров [62, 63, 64].

Например, финские хлебопекарни традиционно закупают оборудование через местную специализированную торговую фирму «LeipurienTukku», которая импортирует это оборудование и реализует его на рынке, оказывают покупателям необходимое техническое обслуживание. Фирма располагает складом наиболее ходовых запасных частей. Менее ходовые запасные части фирма закупает у изготовителя по отдельным заказам, а простейшие запасные части изготавливаются по чертежам изготовителя в своей механической мастерской, оснащенной необходимым оборудованием. Там же производится и ремонт машин и их техническое обслуживание. Учитывая сложившиеся экономические условия за последние 20 лет в структуре АПК России, и анализируя положительный опыт развития зерноперерабатывающего производства в Европе, США и Канаде, назрела необходимость разработки и внедрения концепции развития сервисных и технологических услуг по поддержанию ресурса основного зерноперерабатывающего оборудования, которая бы отражала возможность быстрейшего обновления, восстановления и укрепления ремонтно-обслуживающей базы с максимальным использованием прогрессивных технологий и оборудования для восстановления изношенных деталей и узлов.

2.5 Выводы

На основании выполненного анализа публикаций о результатах исследований подсистем технического сервиса технологического оборудования сформулирована рабочая гипотеза, требующая дополнительного научного обоснования о том, что совершенствовать организацию и повысить эффективность технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования можно путем создания системы управления надежностью.

В зерноперерабатывающих субъектах РФ в последние десятилетия интенсивно развивается переработка продовольственной пшеницы на базе интеграции сельхозтоваропроизводителей в агрохолдинги. Построено и введено в эксплуатацию современное зерноперерабатывающее оборудование отечественного и зарубежного производства. Однако база технического сервиса носит фрагментарный характер, создается стохастично и по разному на различных предприятиях, без должного научного обоснования. Это приводит к снижению безотказности и коэффициента технического использования до значений 0,70–0,77, росту потерь от простоев технологического оборудования и снижению производительности на 10–15%.

ГЛАВА 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1 Применение методов теории марковских процессов для описания системы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования

В соответствии с ГОСТ Р.27.001-2009 «Надёжность в технике. Система управления надёжностью», мероприятия по управлению надёжностью зерноперерабатывающего оборудования могут в себя включать [88]:

1 – формирование технической политики;

2 – планирование и определение состава ремонтно-обслуживающих работ;

3 – определение ответственности, полномочий, состава и порядка действий сотрудников технического сервиса, требования к их квалификации;

4 – порядок поставок запасных частей и ремонтных материалов, распределение ресурсов между обслуживаемой и обслуживающей системами.

5 – меры по оперативной реализации действий по управлению надёжностью;

6 – разработка критериев и методов оценки надёжности функционирования;

7 – анализ, контроль и оценка системы управления надёжностью (СУН).

Математическое описание необходимо для пунктов 6 и 7, так как для зерноперерабатывающего оборудования они в полной мере не разработаны. Эти управляющие воздействия составляют механизм функционирования зерноперерабатывающих предприятий.

На втором этапе исследований рассмотрим работы по теории надёжности применительно к задаче управления надёжностью зерноперерабатывающего оборудования, а именно, к математическому описанию механизма функционирования подсистемы технического сервиса.

Как отмечал академик Б.В. Гнеденко [24, 25, 26, 27], в математической теории надёжности практические результаты впервые получили А.Я. Хинчин [144, 145], К. Пальм в 30-х годах XX века. Математический аппарат усовершенствовали А.К. Эрланг и К. Пальм, работы которых основаны на том, что входящий поток имеет распределение Пуассона. А.Я. Хинчин [143] и Г.А. Осоков создали математически строгое доказательство данного факта. Развитие этого направления в теории восстановления выполнили Н.Р. Кэмпбелл и В. Феллер [138, 139, 140], а значимые работы в математическом описании отказов деталей и систем выполнили В. Вейбулл, Э. Гумбель и Б. Эйнштейн [9].

Анализ показал, что для математического описания механизма функционирования подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия могут быть использованы разделы математической теории надежности: надежность в зависимости от факторов эксплуатации подсистемы технического сервиса; распределение входящего потока отказов и времени безотказной работы; оптимальные правила обслуживания для марковских процессов [68].

При разработке критериев и методов оценки эффективности рассматриваемой системы может быть использована обобщенная

количественная характеристика. Суть ее состоит в том, что, если в момент t состояние системы описывается случайным вектором $\overline{X}(t) = [x_1(t),...,x_i(t),...,x_n(t)]$, его компоненты могут быть значениями различных параметров системы, способными принимать их на действительной оси, а случайный вектор характеризуется распределением [9]:

$$F(x_1,...,x_i,...,x_n;t). \quad (3.1)$$

Значит вероятность того, что $X_1(t) \le x_1,..., X_n(t) \le x_n$. Если каждому состоянию исследуемой системы $\overline{x} = (x_1,...,x_n)$ соответствует числовая функция $g(\overline{x})$, то математическое ожидание этой целевой функции $G(t)$ в момент времени t, может быть вычислено по формуле [9]:

$$G(t) = E_g(\overline{X}(t)) = \int...\int g(x_1,...,x_n)dF(x_1,...,x_n;t), \quad (3.2)$$

на некотором интервале $a \le t \le b$ с учетом функции $W(t)$

$$H(a,b) = \int_a^b G(t)dW(t), \quad (3.3)$$

тогда в соответствии с определением понятия «надежность», вероятность работоспособного состояния обслуживаемой системы зерноперерабатывающего оборудования в течение интервала времени [0;t] равна:

$$G(t) = E_g(X(t)) = P[X(t) = 1]. \quad (3.4)$$

Вероятность того, что обслуживаемая система будет работоспособна в момент времени *t* [9]:

$$G(t) = E_g(\overline{X}(t)) = P[\overline{X}(t) = 1]. \quad (3.5)$$

Значения приведенных показателей определяются двумя факторами – безотказностью работы зерноперерабатывающего оборудования и параметрами и режимами подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования. Следовательно, механизм функционирования подсистемы технического сервиса должен быть направлен на управление вероятностью работоспособного состояния, которое определяется эффективностью подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования.

Управление вероятностью работоспособного состояния обслуживаемого оборудования осуществляется посредством влияния на математическое ожидание доли времени нормального функционирования обслуживаемой системы в течении заданного интервала [9]

$$H(a,b) = (b - a)^{-1}\int_a^b G(t)dt = (b - a)^{-1}\int_a^b Eg(X(t))dt, \quad (3.6)$$

то есть готовностью на интервале [*a;b*]; вероятность того, что в требуемый момент времени зерноперерабатывающее оборудование находится в работоспособном состоянии и доработает до конца интервала [*a;b*], то есть на «интервальную надежность» [9]:

$$R(x,T) = P[\overline{X}(t)] = 1, \quad T \le t \le T + x, \quad (3.7)$$

предельная «интервальная надежность», то есть предел $R(x,T)$ при $T \to \infty$ [9]:

$$U(t) = \sum_{\alpha=0}^{\infty} \int W_n(\bar{t},t) f(E,n,t) dt, \quad P\{N(t) = n\}. \qquad (3.8)$$

Резервы могут быть использованы как для приобретения более надежного оборудования для резервирования и дублирования, так и на повышение эффективности выполнения ремонтно-обслуживающих работ.

Резервные элементы могут активно функционировать, то есть, находиться в нагруженном, или наоборот, ненагруженном резерве, используемом лишь для замены отказавших основных элементов. Могут существовать определенные ограничения по стоимости, весу, объему и т.д., превышать которые не разрешается. Желательно иметь такое размещение резервных элементов, чтобы каждое из них было оптимальным.

По итогам проведенного исследования, возможно использование математической теории надежности для обеспечения надежности зерноперерабатывающего оборудования.

Ее целесообразно применить для описания механизма функционирования подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования, обобщенная характеристика надежности которого описывается вероятностью работоспособного состояния, *G(t)*.

3.2 Теоретические аспекты восстановления работоспособности зерноперерабатывающего оборудования

С целью разработки адекватного математического описания процессов восстановления работоспособности зерноперерабатывающего оборудования был выполнен анализ его использования в системной связи с математической теорией надежности и восстановления.

Основополагающие работы в данном направлении выполнили Р. Барлоу [9, 10], Ф. Беллман, Г. Блэк, Д.Р. Кокс [52], В.Л. Смит, Б.В. Гнеденко [24, 25, 26, 27], Дж. Нейман [91], Ф. Прошан [9, 10], А.А. Ляпунов, В.Ф. Матвеев, В.Г. Ушаков [80], А.Ф. Соловьев [90], А.Н. Колмогоров и другие.

Из теории восстановления для подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования интерес представляют следующие основополагающие аспекты, разработанные Дж. Нейманом [91], Д.Р. Коксом [52], Ф. Прошаном [10], Э. Муром, К. Шенноном [151] и другими:

1. Элементы теории восстановления.
2. Теоретические соотношения для получения количественных характеристик обслуживаемой системы (распределение числа отказов, математическое ожидание параметров восстановлений, количества, продолжительности ожидания).

3. Вероятности того, что элемент будет находиться в работоспособном (неработоспособном) состоянии в момент времени *t*, будет работоспособным в течении заданного времени и другие.

В соответствии с математической теорией надежности, в первом случае ресурсы позволят уменьшить интенсивность потока отказов, которая выражается математическим ожиданием количества отказов λ на интервале [*t1, t2*], во втором – увеличится интенсивность восстановления, что будет выражаться уменьшением математического ожидания продолжительности выполнения ремонтно-обслуживающих работ при устранении отказов, обычно обозначаемыми через μ. Д.Р. Кокс и У.Л. Смит предложили считать процессом восстановления «последовательность независимых, неотрицательных и одинаково распределенных случайных величин $X_1, X_2, \ldots, X_n$, которые не равны нулю с вероятностью единица»

$$S_k = X_1 + X_2 + \ldots + X_k, \quad (3.9)$$

где S_k – процесс восстановления:

$$F^0(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}; \quad (3.10)$$

где $F^0(t)$ – распределение случайной величины X_1.

Основная характеристика процесса восстановления – число восстановлений *N(t)* в интервале*[0;t]*, то есть *N(t)* – максимальная величина *k*, для которого $S_k \leq 1$ при условии, что $N(t) = 0$, если $X_1 > 0$ и [8]:

$$P[N(t) = n] = P[X_1 + \ldots + X_n \leq t, \text{ и } X_1 + \ldots + X_{n+1} > t] = F^n(t) - F^{n+1}(t), \quad (3.11)$$

n – число событий в интервале времени *[0;t]*.

Отсюда следует:

$$P[N(t) \geq n] = F^n(t), \quad (3.12)$$

где *N(t)* – случайное число восстановлений.

Тогда *{N(t); t ≥0}* – счетный процесс восстановления.

Класс распределений отказов зерноперерабатывающего оборудования также может иметь возрастающую функцию интенсивности (ВФИ-распределение).

Из математической теории надежности известно, что непрерывное распределение *F* является ВФИ тогда и только тогда, когда $F(0) = 0$ и $\frac{F(t+x) - F(t)}{F(t)}$ – возрастающая функция от *t* при x > 0, $t \geq 0$ таких, что $F(t) < 1$.

Это может наблюдаться к концу жизненного цикла зерноперерабатывающего оборудования, когда процесс функционирования начинает терять свойство стационарности и параметр отказов возрастает.

Для большинства зерноперерабатывающего оборудования ВФИ не наблюдается, что может подтвердить или опровергнуть суть эксперимента.

Для каждого отдельного оборудования технологической линии по переработке зерна весьма вероятно ВФИ-распределение со средним значением μ_1. Для $t < \mu_1$, [9]:

$$F^{n}(t) \le 1 - \sum_{n=0}^{n-1} \frac{\left(\frac{t}{\mu_1}\right)^{j}}{j!} \cdot e^{-\frac{t}{\mu_1}}, \qquad (3.13)$$

где *j* – состояние элемента в зерноперерабатывающей системе.

Отсюда следует:

$$P\left[N(t) \ge n\right] \le \sum_{j=n}^{\infty} \frac{\left(\frac{t}{\mu_1}\right)^{j}}{j!} \cdot e^{-\frac{t}{\mu_1}}. \qquad (3.14)$$

Таким образом, распределение Пуассона определяет верхнюю границу оценки вероятности появления не менее *n* событий в интервале*[0;t]* для ВФИ-распределения отказов единицы зерноперерабатывающего оборудования в случае, когда *t* не превышает средней продолжительности его безотказной работы.

В рассматриваемом случае восстановление зерноперерабатывающей системы необходимо, чтобы была возможность устранения отказов, то есть необходима вышеуказанная подсистема технического сервиса.

Она должна располагать необходимыми запасными элементами и единицами их замены.

Предполагается агрегатный метод ремонта, при котором заменяются отказавшие элементы, причем отказы одних элементов не связаны с отказами других элементов, а распределение времени каждого отдельного элемента подчиняется экспоненциальному распределению с параметром λ:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}. \qquad (3.15)$$

Отсюда следует, что сумма $N_1(t_1) + N_2(t_2) + \ldots + N_n(t_n)$, как доказал E. Parzen (Сан-Франциско), будет случайной величиной, подчиняющейся закону Пуассона:

$$P\left[N_1(t_1) + \ldots + N_n(t_n) \le N\right] = \sum_{j=0}^{N} \frac{\Theta^{j} e^{\Theta}}{j!}, \qquad (3.16)$$

где Θ – параметр закона Пуассона [9]

$$\Theta = \lambda \sum_{j=1}^{n} t_j. \qquad (3.17)$$

Функция восстановления *μ(t)* имеет классическое определение как среднее число восстановлений на интервале *[0;t]*

$$M(t) = E\left[N(t)\right]. \qquad (3.18)$$

Тогда с учетом формулы (3.3) следует, что:

$$M(t) = \sum_{k=1}^{\infty} kP\left[N(t) = k\right] = \sum_{k=1}^{\infty} F^{(k)}(t). \qquad (3.19)$$

Известно, что

$$F^{(k+1)}(t) = \int_0^t F^{(k)}(k - x)dF(x), \qquad (3.20)$$

таким образом, Барлоу делает вывод о том, что

$$M(t) = F(t) + \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t F^{(k)}(t - x)dF(x) = \int_0^t [1 + M(t - x)]dF(x). \qquad (3.21)$$

Формула (3.13) называется основным уравнением восстановления. Оно справедливо для зерноперерабатывающей системы в силу свойства, выраженного в уравнении (3.8).

Плотность восстановления – это величина, получаемая дифференцированием (3.13) [9]:

$$m(t) = \frac{d}{dt} M(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f^{(k)}(t), \qquad (3.22)$$

где $f^k - k$ – краткая свертка плотности *f*.

Доказательство Пуассоновского потока (3.2) позволяет рассчитать математическое ожидание числа восстановлений элементов зерноперерабатывающей системы в интервале длины *h*. Она равна отношению величины *h* к среднему значению времени между двумя соседними отказами, а выражение *m(t)dt* означает вероятность того, что восстановление произойдет в интервале *[t,t+dt]*.

Применив к основному уравнению восстановления (3.13) преобразование $F^*(s)$ Лапласа от *F*, можно получить преобразование Лапласа – Стилтьеса:

$$M^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-sx} dM(x) = \frac{F^*(s)}{1 - F^*(s)}, \qquad (3.23)$$

из которого следует, что:

$$F^*(s) = \frac{M^*(s)}{1 + M^*(s)}. \qquad (3.24)$$

Распределение *F* для зерноперерабатывающей системы имеет математическое ожидание интенсивности восстановления μ, откуда следует, что $N(t)/t$ сходится по вероятности к $\frac{1}{\mu}$ $\left(\frac{1}{\mu} = 0\right)$ при $\mu = \infty$.

В соответствии с теоремой Блекуэлла для рассматриваемой зерноперерабатывающей системы:

$$\lim_{t \to 0} [M(t + h) - M(t)] = \frac{h}{\mu}. \qquad (3.25)$$

Ю.В. Прохоров и А.Н. Колмогоров доказали теорему, значимую для восстановления зерноперерабатывающей системы:

$$E[s_{N(t)+1}] = \mu_1 [M(t) + 1]. \qquad (3.26)$$

Стационарным процессом восстановления $\{x_n\}_{k=1}^{\infty}$ они называют процесс, у которого случайные величины x_1 имеют распределение

$$F(t) = \frac{\int_0^t \overline{F}(x)dx}{\mu_1}, \qquad (3.27)$$

где x_k (*k=1, 2, 3,…*) – взаимно независимы и одинаково распределены в соответствии с законом Пуассона, что имеет место для машин и оборудования зерноперерабатывающей системы (3.8).

Из теории восстановления [51] известно, что для стационарного процесса восстановления со счетным числом состояний $\{N(t); t \geq 0\}$, тогда с учетом формулы (3.18) получим:

$$E[N(t)] = \frac{t}{\mu_1}. \tag{3.28}$$

Математическое ожидание времени работы *i*-го элемента, проработавшего время *t*, до наступления отказа равно:

$$M[T] = \frac{\int_0^\infty \overline{F}(x)dx}{\overline{F}(t)}. \tag{3.29}$$

Элементарная зависимость восстановления следует из теоремы Блекуэлла:

$$\lim_{t\to\infty} \frac{M(t)}{t} = \frac{1}{\mu_1}. \tag{3.30}$$

Приведем также фундаментальное математическое представление, которое может быть полезно для восстановления зерноперерабатывающей системы [9]:

$$\lim_{t\to\infty} \int_0^t g(t-u)dM(u) = \frac{1}{\mu_1}\int_0^\infty g(u)du. \tag{3.31}$$

По нему процесс пребывания системы в состоянии работоспособности и отказа может быть описан при помощи двух процессов восстановления, вложенных один в другой так, что интервалы одного из них чередуются с интервалами другого [9].

Итак, мы установили, что для зерноперерабатывающей системы имеет место математическое описание числа отказов (с использованием преобразований Лапласа):

$$M_{10}^*(s) = \frac{F^*(s)}{1-F^*(s)G^*(s)}, \tag{3.32}$$

$$M_{00}^*(s) = \frac{F^*(s)G^*(s)}{1-F^*(s)G^*(x)}. \tag{3.33}$$

Можно получить вероятность:

$$P_{10}(t) = M_{10}(t) - M_{11}(t) = \frac{\nu_1}{\mu_1+\nu_1} + 0(1), \tag{3.34}$$

где μ_1 и ν_1 – среднее значение для распределений *F* и *G*.

В случае зерноперерабатывающей системы

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t}, \tag{3.35}$$

$$G(t) = 1 - e^{-bt}, \tag{3.36}$$

$$F^*(s) = \frac{\alpha}{s+\alpha}, \quad G^*(s) = \frac{b}{s+b}. \tag{3.37}$$

Преобразование Лапласа – Стилтьеса от среднего числа отказов оборудования от (3.24, 3.25) определяется как [9]:

$$M_{10}^{\star} = \frac{\alpha(s+b)}{s^2 + (a+b)s}. \qquad (3.38)$$

После преобразований (3.25) находится вероятность отказов, которая равна:

$$P_{10}(t) = \frac{a}{a+b} - \frac{ae^{-(a+b)t}}{a+b}, \qquad (3.39)$$

$$P_{11}(t) = \frac{b}{a+b} - \frac{ae^{-(a+b)t}}{a+b}. \qquad (3.40)$$

Для экспоненциального распределения времени работы зерноперерабатывающее оборудование до отказа *F(t)*и экспоненциального распределения времени восстановления *G(t)* [9]:

$$F^{(n)}(t-x) - F^{(n+1)}(t-x) = e^{-\alpha(t-\alpha)} \frac{[\alpha(t-x)]^n}{n!}. \qquad (3.41)$$

Для экспоненциального времени безотказной работы *F(t)* и такого же распределения времени восстановления *G(t)* среднее время пребывания мельницы в работоспособном состоянии:

$$\lim_{T\to\infty} \int_0^T \left[P_{11}(x) - \frac{\mu_1}{\mu_1 + \nu_1} \right] dx = \frac{\mu_1 l^{(2)} - \mu_2(\mu_1 + \nu_1)}{2(\mu_1 + \nu_1)^2} \approx \frac{T\mu_1}{\mu_1 + \nu_1}, \qquad (3.42)$$

где μ_1 и μ_2 – средние значения и второй момент распределения *F(t)*;

ν^1 – среднее значение распределения *G(t)*;

$l^{(2)}$ – второй момент свертки *F* и *G*.

Таким образом, в зерноперерабатывающей системе существует случайный поток отказов с экспоненциальным распределением продолжительности периодов между соседними отказами, Пуассоновский выходящий поток отказов. В подсистеме технического сервиса соответственно существует входящий поток заявок на восстановление отказов с параметром λ, который является суперпозицией параметров отказов от единичных машин зерноперерабатывающей системы. Поток восстановления характеризуется числом восстановлений *N(t)* на *[0;t]*, описывается основным уравнением восстановления (аргументы *t* и μ), причем *N(t)/t* сходится по вероятности к $1/\mu$.

Процесс восстановления с допустимой погрешностью можно принять стационарным для всей системы, а ВФИ – для отдельных машин технологической линии. К изучаемому процессу приемлемы теоремы восстановления Блекуэлла, Ю.В. Прохорова и А.Н. Колмогорова, преобразование Лапласа – Стилтьеса и фундаментальное представление восстановления (3.31).

Далее изучим процесс возникновения отказов зерноперерабатывающего оборудования, предположив, что показатели его безотказности работы непосредственно влияют на поток заявок на обслуживание.

Можно предположить несимметричную функцию распределения отказов: Вейбулла, γ-распределение или лог-нормальное распределение, различия между которыми значимы лишь «на хвостах распределения» [58]:

Интенсивность отказов описывается известной формулой

$$r(t) = \frac{f(t)}{\overline{F}(t)}, \tag{3.43}$$

где

$$\overline{F}(t) = 1 - F(t). \tag{3.44}$$

r(t)dt – есть вероятность того, что устройство с наработкой t откажет в интервале времени $[t; t + dt]$ и называется «функцией интенсивности отказов».

Для зерноперерабатывающего оборудования данная функция не является убывающей вследствие старения машин, что неизбежно увеличивает вероятность отказов. В технических системах продолжительность безотказной работы носит характер экспоненциального распределения, что подтверждается теорией и практикой надежности технических систем [90], в том числе в сельском хозяйстве [69].

Интенсивность отказов зерноперерабатывающего оборудования в общем случае равна интенсивности отказов отдельных элементов, то есть поток отказов всей обслуживаемой системы – есть суперпозиция потоков отказов отдельных элементов, и по истечению достаточно большого количества времени поток отказов аппроксимируется законом Пуассона. Это справедливо и для возрастающей интенсивности потока отказов [9], что характерно для деталей зерноперерабатывающего оборудования.

Для зерноперерабатывающего оборудования характерны усталостные отказы, которые могут быть аппроксимированы распределением Вейбулла

$$f(t) = \lambda\alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda t\alpha}, \tag{3.45}$$

где *f(t)* – плотность вероятности распределения;

λ – параметр Пуассоновского потока;

α – нормирующая константа,

и экспоненциальным распределением

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\ r(t) = \lambda,\ \lambda > 0,\ t \geq 0, \tag{3.46}$$

где *r(t)* – интенсивность отказов.

Причем в первом случае интенсивность отказов со временем возрастает, а во втором – остается постоянной [9].

Рассмотрим гипотезу об экспоненциальном распределении отказов зерноперерабатывающего оборудования. Она может иметь место при пуассоновском законе пиковых изменений внешних условий функционирования обслуживаемой системы, когда предшествующее использование машин не сказывается на длительности безотказной работы. Зерноперерабатывающее оборудование обычно имеет длительные сроки службы, и в рассматриваемые краткосрочные периоды эксплуатации (между отказами) с известной степенью приближения это правило может сохраняться.

Также фактором, приводящим к указанному свойству, является сложность обслуживаемой системы; поэтому зерноперерабатывающее оборудование как сложная техническая система, работоспособность элементов которой может восстанавливаться, имеет приближенно экспоненциальное распределение времени между отказами и Пуассоновский входящий (по отношению к обслуживающей подсистеме) поток заявок на обслуживание. Заявка совпадает с отказом, так как возникновение отказа связано с возникновением необходимости его устранения, то есть заявкой на обслуживание.

В случае распределения отказов по закону Пуассона плотность вероятности отказов равна [9]:

$$f(t) = \frac{\lambda^k t^{k-1} e^{-\lambda t}}{\Gamma(k)}, \quad t \geq 0, \tag{3.47}$$

где $\Gamma(k)$ – гамма-распределение.

Для рассматриваемого случая функционирование зерноперерабатывающего оборудования, состоящего из значительного количества деталей, распределение времени между отказами теоретически приближается к экспоненциальному при следующих допущениях: детали зерноперерабатывающего оборудования взаимно независимы с точки зрения надежности; отказ одной детали приводит к отказу машины (мельницы, сита и так далее) и вся технологическая линия останавливается, так как оборудование расположено последовательно.

В случае отказа деталь быстро заменяется на исправную, а диагностика практически не занимает много времени [9].

В процессе функционирования каждая единица оборудования порождает поток отказов, который образует случайный процесс; результирующий поток отказов является суперпозицией, и параметр суммарного процесса равен

$$\frac{1}{\Lambda_n} = \frac{1}{m_{n_1}} + \frac{1}{m_{n_2}} + ,...,+ \frac{1}{m_{n_n}}. \tag{3.48}$$

Если обслуживаемая система уже прошла период нестационарности начала функционирования, имеет n элементов, дающих за время t случайное количество отказов $N_{n_i}(t)$-ых элементов, то [9]:

$$P\left[m_{n_i}(t) > 0\right] = \int_0^t \frac{F_{n_i}(x)}{m_{n_i}} dx, \tag{3.49}$$

где $F_{n_i}(x)$ – распределение длительности функционирования i-го элемента;

m_{n_i} – среднее значение распределения длительности функционирования i-го элемента.

Соответственно в пределе при $t \to 0$:

$$\lim_{t \to 0} \frac{P\left[N_{n_i}(t) > 0\right]}{t} = \frac{1}{m_{n_i}}. \tag{3.50}$$

Сумма $1/m_{n_i}$ даст значения параметра Λ_n^{-1} [9]. Фактическое наличие большого количества факторов отказов зерноперерабатывающего оборудования, проявляющиеся в случайные моменты времени t_i, исключение возможности отказов обслуживаемой системы по причине отказа небольшой группы элементов приводит к тому, что:

– если: $\Lambda\sum_{i=1}^{n}\frac{\overline{F_{n_i}}\left(\frac{t}{\Delta}\right)}{m_{n_i}} \to 1$, $n \to \infty$, $t > 0$; (3.51)

– если $\left|N_{n_i}(t); t \geq 0\right|$; (3.52)

– если $N_n(t) = \sum_{i=1}^{n} N_{n_i} t$; (3.53)

то

$$\lim_{n\to\infty} P\left[N_n(t_i) = k, 1 \leq i \leq s\right] = e^{-\lambda t}\lambda^k \prod_{i=1}^{s}\frac{(t_i - t_{t-1})^{k_i - k_{i-1}}}{(k_i - k_{i-1})}, \quad (3.54)$$

где $\lambda = \frac{1}{\Lambda}$; $t_0 = k_0 = 0$.

s – любое положительное целое число, $0 < t_1 < t_2 <,\ldots,< t_s$;

k – неотрицательные целые числа, $0 \leq k_1 \leq k_2 \leq,\ldots,\leq k_s$.

Тогда предел (2.46) сводится к пуассоновскому процессу с параметром $\frac{1}{\Lambda}$. Данную теорему доказал Г.А. Осоков, и эту теорему мы используем в качестве рабочей гипотезы о характере потока отказов, порождаемом обслуживаемой системой зерноперерабатывающего оборудования.

3.3 Применение методов теории массового обслуживания для математического моделирования подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования

Обоснование параметров и режимов технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования состоит в том, что имеется технологический процесс переработки зерна (в муку, крупу и т.д.), в котором используется технологическое оборудование, которое время от времени требует выполнения ремонтно-обслуживающих операций. В терминах теории массового обслуживания, систему, в которой находятся обслуживаемое зерноперерабатывающее оборудование, называют «обслуживаемой системой». Возникающие время от времени потребности в выполнении ремонтно-обслуживающих работ называются «заявками на обслуживание». Они поступают на обслуживание в «обслуживающую систему», в которой имеется необходимое оборудование, трудовой и материальный ресурс для выполнения обслуживания. Рабочие места в обслуживающей системе называются «постами обслуживания». Тогда структуру поддержания работоспособности и параметров надежности

функционирования оборудования можно изобразить схематически (рисунок 3.1).

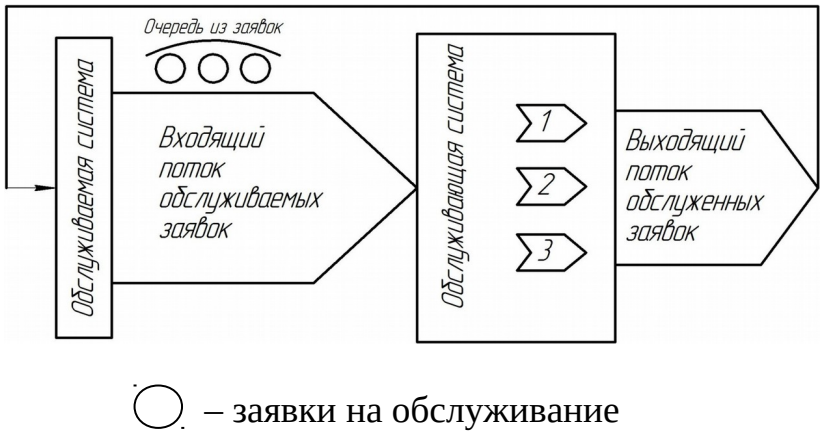


Рисунок 3.1 – Формализованная структура СМО

Допущения. В соответствии с классификацией Кендалла, данная система массового обслуживания является замкнутой (так как обслуженные заявки возвращаются в систему); многопостовой (так как на зерноперерабатывающем предприятии имеется, как правило, несколько постов обслуживания); с ожиданием (без потерь из очереди); со случайным входящим потоком.

Исследование [63] показывает, что входящий поток заявок описывается пуассоновским законом распределения, а закономерность выполнения заявок носит экспоненциальный характер. Обозначим *X(t)* число каналов, занятых в момент *t*.

Тогда можно показать, что:

1) если моменты поступления заявок образуют Пуассоновский поток однородных событий;

2) длительности обслуживания независимы между собой и от моментов поступления заявок одинаково распределенные случайные величины, то случайный процесс *X(t)*обладает эргодическим распределением, то есть существуют не зависящие от начального распределения пределы

$$p_k = \lim_{t\to\infty} P\{X(t)=k\} \quad k=0,1,2,\ldots,n \;; \tag{3.55}$$

причем:

$$p_k = \left(\sum_{r=0}^{k}\frac{\delta}{r}\right)^{-1}\cdot\delta(k), \tag{3.56}$$

где r – произведение интенсивности потока поступлений заявок на среднюю длительность устранения отдельного отказа, то есть $r = \lambda\Delta t$.

Однородный стационарный поток без последействий является простейшим, а число n событий такого потока, выпадающих на интервал x, распределено по закону Пуассона:

$$P(n,x)=\frac{(\lambda x)^n e^{-\lambda x}}{n!}, \qquad (3.57)$$

где λ – параметр входящего потока.

Рассмотрев входящий поток заявок на обслуживание, установили следующее. Процесс поступления в подсистему технического сервиса заявок является стохастическим, так как они поступают в случайные моменты времени.

Поток заявок обладает таким качеством, как неотрицательность. Количество заявок – всегда целое число, так как отказ либо есть, либо нет, причем вероятность двух и более отказов в один и тот же момент времени пренебрежительно мала.

В соответствии с теорией, случайный процесс $\{\nu(t),\ t \geq 0\}$ принимающий целые неотрицательные значения, определяется как поток событий, который можно определять, задавая случайные последовательности $\{t_k;\ k \geq 1\}$ или $\{z_k;\ k \geq 1\}$. Значение $v(t)$ имеет смысл числа событий за временной интервал $[0;t]$ [80] (рисунок 3.2).

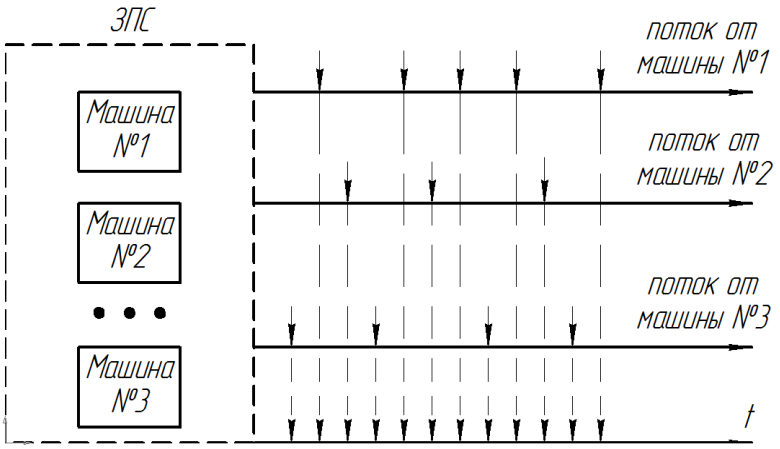


Рисунок 3.2 – Стационарный ординарный и без последействия поток заявок на обслуживание зерноперерабатывающей системы

В данном случае поток имеет независимые в совокупности случайные величины $\{z_k;\ k \geq 1\}$, имеет следующие свойства:

1) стационарность, так как вероятность появления k событий на любом промежутке времени зависит только от числа k и от длительности t промежутка и не зависит от числа его отсчета; при этом различные промежутки времени предполагаются непересекающимися, что верно для подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающей системы;

2) ординарность, так как появление двух и более событий за малый промежуток времени маловероятно (менее погрешности опытов – 5%);

3) отсутствие последействия, так как вероятность появления k событий на любом временном интервале не зависит от числа событий на предшествующем интервале [98].

Из теории [80, 98] известно, что в этом случае имеет место простейший, или Пуассоновский поток событий, характеризующийся интенсивностью потока λ, при котором вероятность появления k событий за временной интервал длительностью t определяется формулой Пуассона.

Вероятность появления k событий за время t при заданной интенсивности λ является функцией от k и t, то есть формула отражает свойство стационарности. Она не использует информацию о появлении событий до начала интервала t, то есть последействие отсутствует.

Если рассчитать вероятности появления событий $k = 0$ и $k = 1$

$$P_t(k>1) = 1 - \left[P_t(0) + P_t(1)\right] = 1 - \left[e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t}\right], \quad (3.58)$$

то можно установить, что вероятность появления более двух отказов одновременно пренебрежительно мала.

По этой причине потоки отказов от различного оборудования зерноперерабатывающей системы отличаются друг от друга только параметром λ, который можно рассчитать по формуле [98] с учетом выражения (3.90)

$$M_1[k] = \sum_{i=1}^{\infty} k P_k(t) = e^{-\lambda t} \sum_{k=1}^{\infty} k \frac{(\lambda t)^k}{k!} = \lambda t . \quad (3.59)$$

Средняя интенсивность входящего потока для подсистемы технического сервиса равна [94]:

$$\frac{M_1(t_0, t)}{t - t_0} = \lambda(t_0, t), \quad (3.60)$$

где $\lambda(t_0, t) = \lambda$ – для стационарного потока и $\lambda < +\infty$ для «финитных» потоков [94].

Мы будем изучать свойства случайных процессов $\upsilon(t)$ и $\mu(t)$, где $\upsilon(t)$ – число требований в системе (или другими словами, число занятых приборов) в момент времени t и $\mu(t)$ – число требований, обслуженных системой в интервале $[0;t]$.

Для оптимизации параметров и режимов функционирования подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающих предприятий предлагается использование решений известных дифференциальных уравнений, описывающих различные типы систем массового обслуживания.

3.3.1 Моделирование организации технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования

Рассмотрим математическое моделирование организации технического сервиса оборудования с применением теории массового обслуживания.

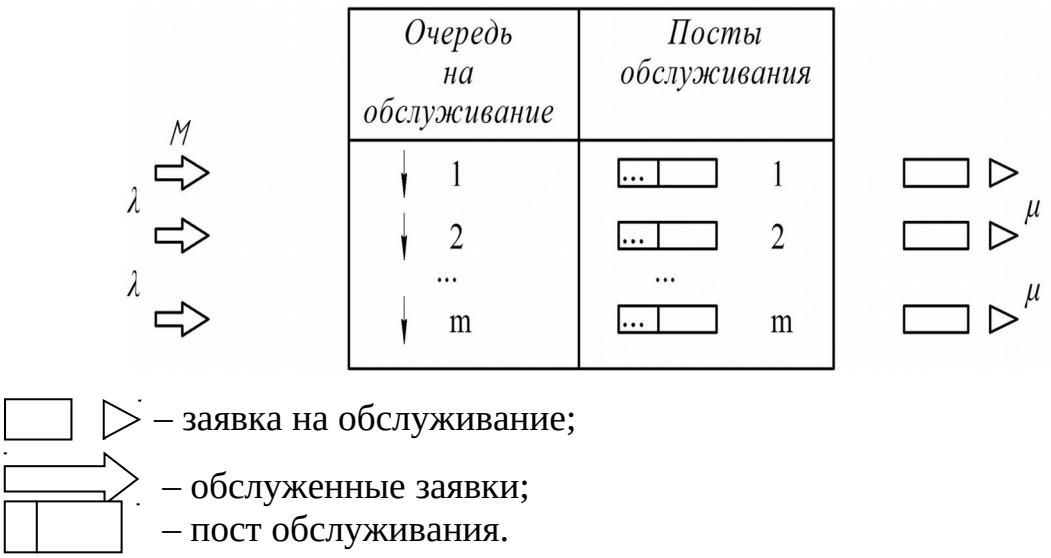
В современных условиях зерноперерабатывающие предприятия достаточно часто сосредотачиваются в отдельных географически близких местностях (железнодорожных станций, вблизи портов, в городских и

крупных сельских поселениях), образуя кластеры. В этом случае возможна организация централизованного технического сервиса в отдельном предприятии, обслуживающем данные группы зерноперерабатывающих фирм.

Данная система технического сервиса состоит из одного (*1*) или нескольких (*n*) постов обслуживания; в систему технического сервиса поступают заявки на обслуживание от зерноперерабатывающего оборудования всего кластера, то есть число единиц обслуживаемых машин и оборудования велико для того, чтобы с погрешностью не более 5% считать систему разомкнутой; и интервалы между поступлениями заявок, и продолжительностью их обслуживания являются случайными величинами, имеющими функцию распределения

$$B(x) = P(B < x). \qquad (3.61)$$

Структура разомкнутой системы массового обслуживания интерпретирована на рисунке 3.3.



– заявка на обслуживание;

– обслуженные заявки;

– пост обслуживания.

λ – параметр потока отказов;
μ – параметр механизма обслуживания;
m – количество заявок на обслуживание;
n – количество обслуживающих постов

Рисунок 3.3 – Организация централизованной системы технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия (разомкнутая система массового обслуживания, с очередью)

При $t \to \infty$, $p_k'(t) \to 0$ и $p_k(t) \to p_k$. Подставив эти условия в систему (*n*), получим [94]

$$\begin{cases} \\ \end{cases}, \qquad (3.62)$$

Из теории вероятностей [18, 19] известно, что:

$$\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1. \qquad (3.63)$$

Решение данной системы уравнений (3.61) дает возможность установить параметры системы технического сервиса (для разомкнутой с очередью) [94]:

– вероятность обслуживания заявок, когда приходящая очередная заявка застанет все посты свободными от работы (вероятность незанятости постов централизованной системы технического сервиса)

$$p_0 = \left[\sum_{k=0}^{k=N} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^N}{(N-1)!(N-\alpha)} \right]^{-1}, \quad \frac{\alpha}{N} < 1 \tag{3.64}$$

где $\alpha = \lambda \mu^{-1}$;

λ – плотность входящего потока заявок;

μ – параметр экспоненциального механизма обслуживания;

n – число постов обслуживания в централизованной системе технического сервиса;

k – текущее число постов обслуживания в централизованной системе технического сервиса.

– вероятность того, что обслуживанием занято k постов централизованной системы технического сервиса

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} \cdot p_0, \quad 1 \le k \le n; \tag{3.65}$$

– вероятность того, что все посты заняты обслуживанием

$$p_n = \frac{\alpha^n p_0}{(n-1)!(n-\alpha)}, \quad \frac{\alpha}{n} < 1; \tag{3.66}$$

– вероятность того, что все посты заняты, и в очереди находится s заявок

$$p_{n+s} = \frac{\alpha^{n+s}}{n! n^n} \cdot p_0, \qquad s > 0 \ ; \tag{3.67}$$

– вероятность того, что ожидание начала обслуживания в централизованной системе технического сервиса превысит предельное время t, когда заказчик может покинуть централизованную систему технического сервиса для альтернативного обслуживания у конкурентов

$$p(0 > t) = p_n \cdot e^{-\mu(n-\alpha)t} \ ; \tag{3.68}$$

– средняя продолжительность ожидания обслуживания

$$T_{\text{ож}} = \frac{p_n t_{\text{обсл}}}{(n-\alpha)}, \qquad \frac{\alpha}{n} < 1 \ , \tag{3.69}$$

где $t_{\text{обсл}} = \mu^{-1}$ – средняя продолжительность обслуживания заявки в централизованной системе технического сервиса;

– средняя длина очереди

$$M_{ож} = \frac{\alpha \cdot p_n}{n \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{n}\right)^{\alpha}}, \tag{3.70}$$

– среднее число заявок в очереди:

$$M = M_{ож} + \frac{n \cdot p_n}{1 - \frac{\alpha}{n}} + p_0 \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{\alpha^k}{(k-1)!}, \quad (3.71)$$

– среднее число простаивающих постов

$$n_{пр} = \sum_{k=0}^{k=n} \frac{n-k}{k!} \cdot \alpha^k \cdot p_0, \quad (3.72)$$

– коэффициент простоя постов

$$K_{пр} = n_{пр}/n, \quad (3.73)$$

– среднее число занятых обслуживанием постов

$$n_з = n - n_{пр}, \quad (3.74)$$

– коэффициент загрузки постов

$$K_з = n_з/n. \quad (3.75)$$

Математическую модель (целевую функцию) для обоснования оптимальной мощности централизованной системы технического сервиса можно представить в виде

$$F_{ЦСТС} = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 \to \min, \quad (3.76)$$

где $F_{ЦСТС}$ – стоимость обслуживания и ущерб от простоев;

f_1 – ущерб от простоя заявок в очереди;

f_2 – потери от простоя $n_{пр}$ постов;

f_3 – стоимость обслуживания;

f_4 – ущерб от ухода заявки к конкуренту.

С учетом [94] и соотношений (3.72–3.75) формула (3.76) имеет вид:

$$F_{ЦСТС} = (\lambda q_{ож} + q_{пр} \sum_{к=0}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \cdot \alpha^k \cdot [\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}]^{-1} +$$

$$+ (n - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \cdot \alpha^k \cdot [\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}]^{-1} \cdot q_k) \cdot \frac{\overline{t_{обс}}}{(n-\alpha)} \cdot \quad (3.77)$$

$$\cdot \frac{\alpha^n}{(n-1)(n-\alpha)} \cdot [\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}]^{-1} \to \min$$

где $q_{ож}$ – ущерб от простоя заявок в очереди;

$q_{пк}$ – ущерб от простоя поста обслуживания централизованной системы технического сервиса.

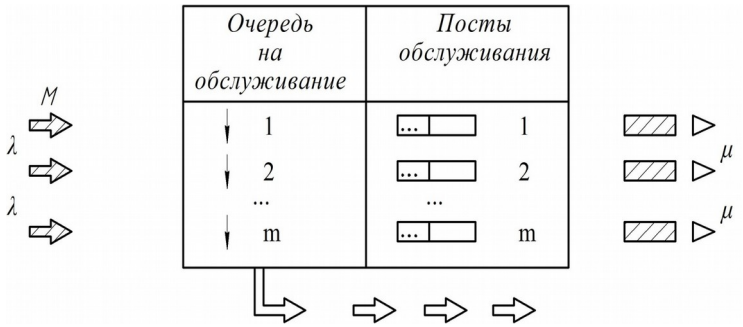
В настоящее время широкое распространение получила комбинированная система технического сервиса (рисунок 3.4).

При такой организации сложные отказы устраняются в централизованной системе технического сервиса, а более простые – на самом зерноперерабатывающем предприятии.

Существуют различные группы сложности отказов зерноперерабатывающего оборудования. Простые отказы при занятости постов комбинированной системы устраняются в подсистеме технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия, а сложные – централизованной системой.

Система уравнений для данной организации, рисунок 3.4 имеет вид [94]:

(3.78)



– заявки неоднородного потока;

– обслуженные заявки неоднородного потока;

– не обслуженные заявки;

λ – параметр потока отказов;

μ – параметр механизма обслуживания;

m – количество заявок в очереди на обслуживание;

n – количество постов обслуживания

Рисунок 3.4 – Организация комбинированной системы управления надежностью с использованием централизованного обслуживания в подсистеме технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия

Из литературных источников [94] известны решения данной системы уравнений.

– вероятность простоя всех постов централизованной системы технического сервиса [90]

$$p_0 = \frac{n - \alpha_1}{\left[n - \alpha_1 + \alpha_1 E_n(\alpha_1 + \alpha_2)\right] n_n(\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad (3.79)$$

где $\alpha_1 = \lambda_1/\mu$ и $\alpha_2 = \lambda_2/\mu$;

– вероятность занятости k постов обслуживания централизованной системы технического сервиса и $0 < k \le n$

$$p_k = \frac{n - \alpha_1}{n - \alpha_1 + \alpha_2 E_n(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)^k}{k! \left[n_n(\alpha_1 + \alpha_2)\right]}, \quad (3.80)$$

при условии $k > n$

$$p_k = \frac{(n - \alpha_1) E_n(\alpha_1 + \alpha_2)}{n - \alpha_1 + \alpha_1 E_n(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \left(\frac{\alpha_1}{n}\right)^{k-n}, \quad (3.81)$$

$$n_n(\alpha_1 + \alpha_2) = \sum_{k=0}^{n} \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)^k}{k!}, \quad (3.82)$$

$$E_n = (\alpha_1 + \alpha_2) = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)^n}{n!} \cdot n_n^{-1}; \quad (3.83)$$

– среднее время ожидания заявок первого типа [94]

$$T_{ож} = \frac{p_{отк}}{\mu(n - \alpha_1)}; \quad (3.84)$$

– среднее число [94] занятых постов централизованной системы технического сервиса

$$n_з = \sum_{k=1}^{n} k_{p_n} + \sum_{k=n+1}^{\infty} n_{p_k}, \quad (3.85)$$

– среднее число простаивающих постов централизованной системы технического сервиса

$$n_{пр} = \sum_{k=0}^{n} (n - k) \cdot p_k, \quad (3.86)$$

– коэффициент простоя постов централизованной системы технического сервиса

$$K_{пр} = n_{пр} \cdot n^{-1}, \quad (3.87)$$

– коэффициент загрузки постов централизованной системы технического сервиса

$$K_з = n_з \cdot n^{-1}, \quad (3.88)$$

Математическая модель для комбинированной системы технического сервиса выражается формулой

$$F_{КСТС} = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5, \quad (3.89)$$

где f_1 – ущерб от простоя заявок первого типа в очереди;

f_2 – потери от простоя постов централизованной системы сервиса;

f_3 – стоимость обслуживания централизованной системы сервиса;

f_4 – ущерб от ухода заявок второго типа из централизованной системы технического сервиса;

f_5 – стоимость обслуживания заявок в подсистеме технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия.

Окончательный вид целевой функции для комбинированной системы технического сервиса:

$$F_{КСТС} = \{\lambda_1 q_{ож} + \lambda_2 q_{ож} + q_{пр} \sum_{k=0}^{n} (n - k) \frac{(n - \alpha_1) E_n(\alpha_1 + \alpha_2)}{n - \alpha_1 + \alpha_1 E_n(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \left(\frac{\alpha_1}{n}\right)^{k-n} + \sum_{k=1}^{n} k \cdot \frac{n - \alpha_1}{n - \alpha_1 + \alpha_2 E_n(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \left(\frac{\alpha_1}{n}\right)^{k-n} + \sum_{k=n+1}^{\infty} n \cdot \frac{n - \alpha_1}{n - \alpha_1 + \alpha_2 E_n(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \left(\frac{\alpha_1}{n}\right)^{k-n} \cdot q_k\} \cdot \frac{1}{\mu(n - \alpha_1)} \cdot \quad (3.90)$$

$$\cdot\sum_{k=n}^{\infty}\frac{n E_n(\alpha_1+\alpha_2)}{n-\alpha_1+\alpha E_n(\alpha_1+\alpha_2)}\to\min.$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в случае пуассоновского входящего потока заявок и экспоненциального механизма обслуживания применение аналитических зависимостей теории массового обслуживания для централизованной и комбинированной систем организации технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия целесообразно.

3.3.2 Структура и критерий эффективности функционирования зерноперерабатывающего предприятия

В самой подсистеме технического сервиса заявки обслуживаются, и обслуженные заявки возвращаются в зерноперерабатывающую систему.

Например, при отказе мельницы заявка на обслуживание выполняется (то есть делается текущий ремонт), и по завершению ремонтных работ мельница включается в технологический процесс (рисунок 3.5).

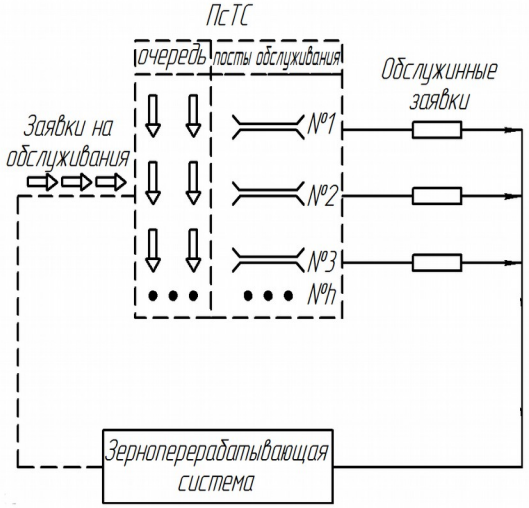


Рисунок 3.5 – Контур циркуляции заявок на перерабатывающем предприятии

Рассмотрев механизм обслуживания заявок в подсистеме технического сервиса (рисунок 3.5), пришли к выводу, что продолжительность обслуживания также является случайной величиной, так как отказывают разнообразные детали большого количества марок и единиц зерноперерабатывающего оборудования с различной трудоемкостью обслуживания заявки, то есть

$$F(t)=P\left|t_{\text{обс}}<t\right|, \tag{3.91}$$

где $P\left|t_{\text{обс}}<t\right|$ – вероятность того, что время обслуживания $t_{\text{обс}}$ меньше t, и при $t_{\text{обс}}=0$ $F(t)=0$ [83].

Закономерности обслуженного потока заявок определяются на основе наблюдений за процессом обслуживания заявок [94]

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}\ ; \qquad (3.92)$$

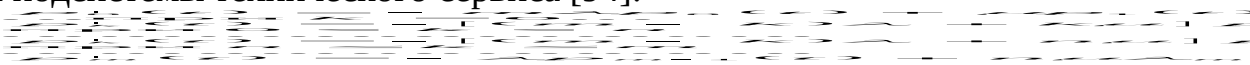
где $\mu = 1/t_{обс}$ – положительная стационарная величина.

Организация технического сервиса на зерноперерабатывающем предприятии может быть представлена как система массового обслуживания со следующими свойствами по классификации Кендалла:

- замкнутая (контур циркуляции замкнут);
- с ожиданием, так как заявки в случае занятости поста обслуживания ожидают в очереди;
- *n*-постовая, так как имеет *n* постов обслуживания;
- характеризуется параметром входящего потока λ и выходящего – μ.

В рассматриваемой подсистеме технического сервиса, поступающие из зерноперерабатывающей системы с интенсивностью λ, сразу выполняются при наличии свободного поста, и ожидают в очереди в случае их занятости до момента, пока один из них не освободится (рисунок 3.6).

Из теории массового обслуживания известна математическая модель данной подсистемы технического сервиса [94]:



, (3.93)

Решение данной рекуррентной системы уравнений известны и имеют приводимый ниже вид для различных параметров [98, 76] и [94, с. 98]

Параметр подсистемы технического сервиса

$$\alpha = \lambda_0 \mu^{-1}, \qquad (3.94)$$

где λ – параметр потока заявок от зерноперерабатывающей системы;

$\mu = t_{обс}^{-1}$ – параметр механизма обслуживания заявок в подсистеме технического сервиса.

Вероятность отсутствия требований P_0:

$$p_0 = \left[\sum_{k=0}^{n} \frac{m!}{k!(m-k)!} \cdot \alpha^k + \sum_{k=n+1}^{m} \frac{m! n^k}{n^{k-1} \cdot n!(m-k)!} \right]^{-1}. \qquad (3.95)$$

Вероятность нахождения в подсистеме технического сервиса k заявок, из которых z обслуживается, а $k - z$ ожидают обслуживания и [94]:

$$p_k = p_0 m! \alpha^k \left[n^{k-z} n!(m-k)! \right]^{-1}, \text{ при } n \le k \le m. \qquad (3.96)$$

Среднее число заявок в очереди на обслуживание [94]:

$$M_{ож} = \sum_{k=n+1}^{m} \frac{(k-n) m! \alpha^k}{n^{k-n} n!(m-k)!} p_0, \qquad (3.97)$$

коэффициент простоя заявок в очереди, и [94]:

$$K_{п.з.} = M_{ож} \cdot m^{-1}, \qquad (3.98)$$

Математическое ожидание количества заявок в подсистеме технического сервиса [94]

$$M = M_{ож} + \sum_{k=1}^{n} \frac{\alpha^k m!}{k!(m-k)!} \cdot p_0. \qquad (3.99)$$

Среднее число обслуживающих постов простаивающих в ожидании заявок [94]

$$n_{np} = \sum_{k=0}^{k=n} \frac{(n-k)m!\alpha^k}{k!(m-k)!} \cdot p_0 . \qquad (3.100)$$

Коэффициент простоя постов обслуживания [94]:

$$K_{np} = n_{np} \cdot n^{-1} . \qquad (3.101)$$

Вероятность того, что число требований, ожидающих обслуживания, больше N [94]:

$$p > N = \sum_{k=N+1}^{m} pk = 1 - \sum_{k=0}^{N} p_k , \; N > n . \qquad (3.102)$$

Целевая функция организации автономной системы технического сервиса выражается формулой

$$F_{ACTC} = f_1 + f_2 \to \min , \qquad (3.103)$$

где f_1 – стоимость простоя одного часа работы зерноперерабатывающей системы;

f_2 – стоимость простоя одного часа подсистемы технического сервиса.

Подставив в (3.105) выражается для определения продолжительности простоев зерноперерабатывающей системы (3.94 и 3.99) и подсистемы технического сервиса (3.101), получили:

$$F_{ACTC} = (M_{ож} + \mu)q_1 + n_0 q_2 \to \min , \qquad (3.104)$$

или с учетом (3.101):

$$F_{ACTC} = \left(M_{ож} + \sum_{k=1}^{n} \frac{\alpha^k m!}{k!(m-k)!} \cdot p_0 \right) \cdot q_1 + n_0 q_2 \to \min . \qquad (3.105)$$

Подставив в (3.106) формулы (3.98, 3.102), получили целевую функцию, являющуюся имитационной моделью организации автономной системы технического сервиса в общем случае:

$$F_{ACTC} = \left\{ \sum_{k=n+1}^{m} \frac{(k-n)m!\alpha^k}{n^{k-n}n!(m-k)!} \cdot p_0 + \sum_{k=1}^{n} \frac{\alpha^k m!}{k!(m-k)!} \cdot p_0 \right\} q_1 + \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(n-k)m!\alpha^k}{k!(m-k)!} \cdot p_0 \right\} q_2 \to \min . \qquad (3.106)$$

Таким образом зерноперерабатывающее предприятие можно разделить на зерноперерабатывающую систему и подсистему технического сервиса, характеризующиеся как система массового обслуживания: замкнутая, с постами обслуживания, с очередью и ожиданием в очереди, с экспоненциальным механизмом обслуживания и входящим потоком Пуассона. В этом случае она описывается известными из теории случайных процессов системой рекуррентных уравнений. Системы могут быть использованы в имитационной модели организации автономного технического сервиса на зерноперерабатывающем предприятии (3.106). Полученная модель имеет экстремум, который можно использовать для установления рационального баланса средств, затрачиваемых на технический сервис и на зерноперерабатывающую систему.

3.4 Целевая функция для управления надежностью и эффективностью функционирования зерноперерабатывающего оборудования

Финансовые и материальные ресурсы обычно ограничены, и если больше средств потратить на снижение интенсивности потока отказов, что возможно при повышении качества и надежности зерноперерабатывающего оборудования, то меньше средств остается на организацию подсистемы технического сервиса, и наоборот.

Стоимости S_1 и S_2 отражаются в стоимости простоя одного часа зерноперерабатывающей системы(F_1) и одного часа подсистемы технического сервиса (F_2) (рисунок 3.6).

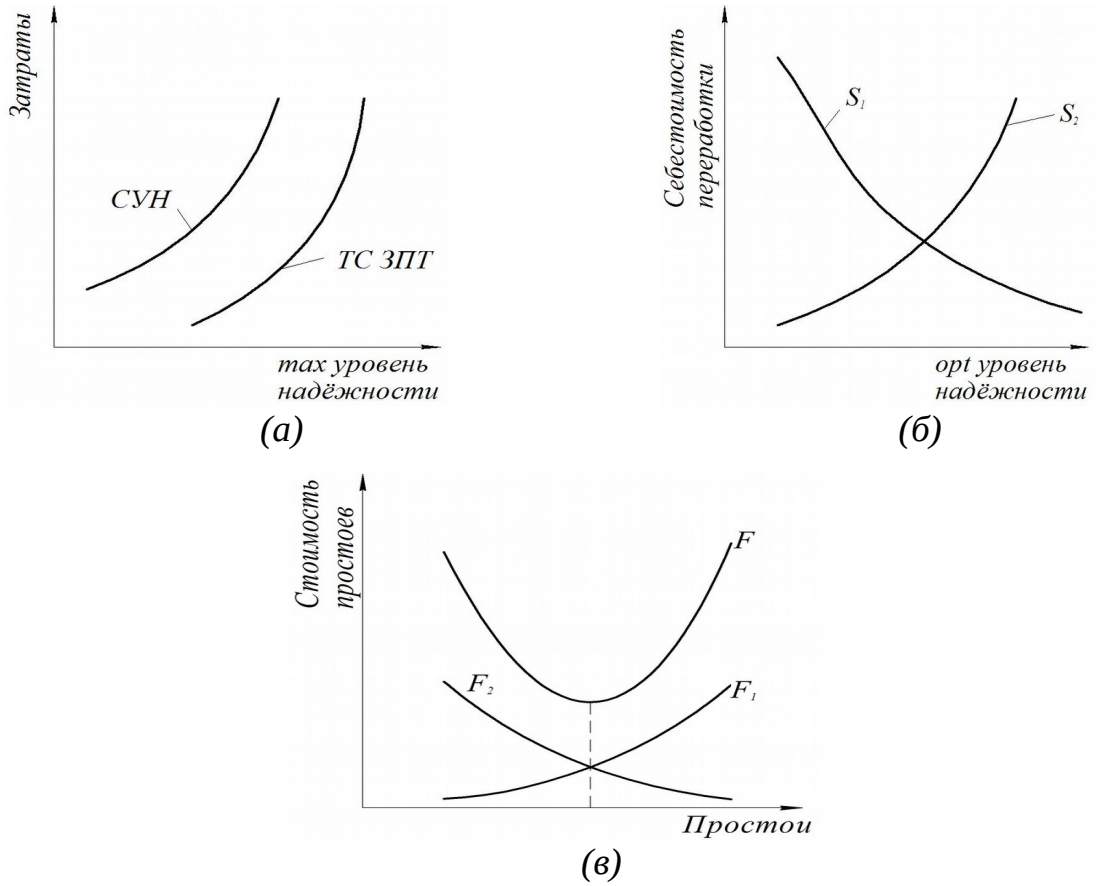


Рисунок 3.6 – Графики зависимости соотношений целевых функций

Чем выше затраты на поддержание надежности, тем выше и ее показатели: безотказность, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы и другое, и тем меньше простоев и связанных с ними непроизводственных затрат – убытков. Однако, чрезмерные затраты на систему управления надежности и технический сервис зерноперерабатывающего оборудования увеличивают элементы S_2 и F_1, поэтому начиная с некоторых значений факторов, общие затраты и себестоимость начинают возрастать (рисунок 3.6)

Как видно из графика «*а*» (рисунок 3.6), для достижения больших уровней надежности требуются непропорционально большие затраты, при этом себестоимость в подсистеме переработки снижается, а в подсистеме

технического сервиса – возрастает (график *«б»*), при этом совокупные затраты также возрастут, начиная с некоторой точки оптимума (график *«в»*), соответственно имеет оптимум и критерий $F_{опт}$ (график *«в»*).

Для получения количественных значений точки оптимума необходимы исследования в разрезе каждого предприятия, так как для каждого из них имеет место свой оптимум. Но для этого необходима методика определения целевой функции (3.106). С целью разработки этой методики вначале расшифровали математическую модель (3.106) методом удлинения, дополнив компоненты F_1 и F_2. Затраты на обслуживание (то есть, выполнение операций технического сервиса) складываются из затраченного времени (в нормо-часах) и удельной стоимости обслуживания.

Стоимости запасных частей, расходных материалов не зависят от продолжительности обслуживания, они как неизменяемые элементы затрат, из дальнейшего анализа исключены. Ущерб от простоя зерноперерабатывающего оборудования зависит от продолжительности простоя и удельной стоимости простоя оборудования, от сокращения выпуска продукции. С учетом вышеперечисленного, получим

$$F = T_{обс} \cdot f_{обс} + (T_{обс} + T_{ож}) \cdot f_{пр}, \qquad (3.107)$$

где $T^{обс}$ – продолжительность обслуживания;

$f_{обс}$ – стоимость часа обслуживания;

$f_{пр}$ – ущерб от часа простоя, включая утраченную выгоду от снижения выпуска продукции;

$T_{ож}$ – продолжительность ожидания обслуживания.

Для расчета по приведенным и известным из литературных источников формулам необходимо знание параметров входящего потока требований λ и параметра механизма обслуживания μ.

Действующие законодательства требуют от организаций по техническому обслуживанию выписку счетов-фактур и ведения журналов, в которых фиксируется время поступления на ремонт, нормо-часы, дата ремонта или технического обслуживания, стоимость услуг и использованных запасных частей, материалов.

Кроме того, на основании приема-сдачи составляется наряд-заказ с указанием обслуживаемого изделия, использованных запчастей, материалов выполненных работ и исполнителей. Выше перечисленные документы позволяют идентифицировать закономерности обслуживания и вычислить точечные характеристики входящего потока требований на обслуживание.

При выполнении технического обслуживания на месте установки необходимы затраты времени для организации соответствующего рабочего

места, оно складывается из времени вызова и ожидания ремонтной бригады, разворачивания оборудования. Затем выполняются операции технического обслуживания или диагностируется причина или устраняется отказ, после чего рабочее место свертывается и бригада уезжает.

Сумма продолжительностей элементов технического обслуживания составляет длительность процесса восстановления:

$$T^{p}=t^{орм}+t^{д}+t^{рем}+t^{срм}\,, \qquad (3.108)$$

где $t^{орм}$ – продолжительность организации рабочего места;

$t^{орм}$ – время на диагностику и выявление объема работ;

$t^{рем}$ – продолжительность ремонта;

$t^{срм}$ – продолжительность сворачивания рабочего места и приведения изделия в рабочее состояние (установка на место снятых деталей, ограждений, кожухов и т.д.).

Если техническое обслуживание или ремонт достаточно сложный, его выполняют на постах технического обслуживания предприятия, и продолжительность обслуживания требования составит:

$$T^{p}=2t^{орм}+t^{дд}+2t^{срм}+t^{мд}+2t^{у}+t^{р}\,, \qquad (3.109)$$

где $t^{орм}$ и $t^{срм}$ – соответственно продолжительность организации и свертывания рабочего места для демонтажа узла (агрегата, рабочего органа);

$t^{дд}$ и $t^{мд}$ – продолжительность демонтажа и последующего монтажа узла (агрегата, рабочего органа).

$t^{у}$ – продолжительность доставки детали к стационарному пункту технического обслуживания и возврата на место;

$t^{р}$ – продолжительность сервиса.

Каждое предприятие устанавливает нормативы, перечисленные в формулах (3.111 и 3.112), элементов времени хронометражным методом, например, с помощью видеонаблюдения. Далее рассмотрели частный случай составления целевой функции для моделирования мельницы А1-АВМ1.

Преобразуя целевую функцию формула (3.107), применительно к описанной системе, и разделив затраты на переменные и постоянные, получим:

$$F_{A1\text{-}\,ABM1}=F_1+F_2+F_3\rightarrow \min\,, \qquad (3.110)$$

$$F_1 = K_з \cdot (F_{пост} + F_{пер}) \quad (3.111)$$

$$F_2 = K_{пр} F_{пост} \quad (3.112)$$

где $F_{пост}$ – постоянные затраты (на содержание постов);

$F_{пер}$ – переменные затраты (на обеспечение функционирования постов);

$K_з$ – коэффициент загрузки постов;

$K_{пр}$ – коэффициент простоя постов.

При составлении алгоритма моделирования (приложение 2) ввели обозначения:

$$A = F_1, \quad (3.113)$$

$$Б = F_2 + F_3, \quad (3.114)$$

$$C = F_{пост} \cdot (1 + k_з + p_п \cdot K_{уд}), \quad (3.115)$$

$$Д = F_{пер} \cdot p_п \cdot K_{уд}, \quad (3.116)$$

где $p_п$ – вероятность того, что все посты заняты обслуживанием;

$K_{уд}$ – коэффициент удорожания выполнения заявки в конкурентной среде.

Отмеченные коэффициенты рассчитываются по формулам:

$$K_з = n_з \cdot n^{-1}, \quad (3.117)$$

$$K_{пр} = 1 - K_з, \quad (3.118)$$

где $n_з$ –среднее число занятых постов;

n – общее число постов.

Для расчета целевой функции и ее составляющих нами разработан алгоритм моделирования (приложение 2) и соответствующая компьютерная программа (приложение 3), которая является имитационной моделью для проведения эксперимента.

3.5 Выводы

Анализ содержания работ, посвященных техническому сервису машин позволят сделать вывод о возможном использовании теории надежности при решении задач по обеспечению надежности зерноперерабатывающего оборудования: ее целесообразно применить для описания механизма функционирования подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования, обобщенная характеристика надежности которого описывается вероятностью работоспособного состояния $G(t)$.

В соответствии со стандартом ГОСТ Р 27.001-2009 [5] механизм функционирования зерноперерабатывающего оборудования должен быть направлен на распределение ресурсов обеспечения надежности обслуживаемой и обслуживающей подсистем, по целевой функции, учитывающей интенсивности потоков отказов и восстановлений.

Система обслуживания состоит из бесконечного числа одинаковых приборов. Длительности обслуживания требований – независимые в совокупности случайные величины, стохастически эквивалентные случайные величины. Входящий поток требований – пуассоновский с интенсивностью α. Изучены свойства случайных процессов $\upsilon(t)$ и $\mu(t)$, где $\upsilon(t)$ – число требований в системе (или другими словами, число занятых приборов) в момент времени t и $\mu(t)$ – число требований, обслуженных системой в

интервале *[0;t]*. В зерноперерабатывающей системе существует случайный поток отказов с экспоненциальным распределением продолжительности периодов между соседними отказами, gуассоновский выходящий поток отказов. В подсистеме технического сервиса соответственно существует входящий поток заявок на восстановление отказов с параметром λ, который является суперпозицией параметров отказов от единичных машин зерноперерабатывающей системы. Поток восстановления характеризуется числом восстановлений *N(t)* на *[0;t]*, описывается основным уравнением восстановления (аргументы *t* и μ), причем *N(t)/t* сходится по вероятности к $1/\mu$. Процесс восстановления с допустимой погрешностью можно принять стационарным для всей системы, а ВФИ – для отдельных машин технологической линии. К изучаемому процессу приемлемы теоремы восстановления Блекуэлла, Ю.В. Прохорова и А.Н. Колмогорова, преобразование Лапласа – Стилтьеса и фундаментальная теорема восстановления. Изложенный в статье теоретический материал позволяет рассчитать параметры и режимы восстановления зерноперерабатывающей системы.

Сложный характер функционирования системы эксплуатации машин и оборудования требует применения системных методов управления надежностью и эффективностью, причем управление надежностью целесообразно построить на разработках Дж. Неймана, Э. Мура и К. Шеннона, при этом инженерная служба зерноперерабатывающего оборудования трансформируется в систему управления надежности в соответствии с ГОСТ 27.001-2009 «Системы управления надежностью».

На основании выполненных теоретических исследований процесса возникновения отказов зерноперерабатывающего оборудования, с учетом теоремы Г.А. Осокова, сделан вывод о том, что возникновение отказов подчиняется закону Пуассона, причем отказ возникает одновременно с заявкой на обслуживание (устранение отказа). Распределение продолжительностей периодов между отказами носит экспоненциальный характер, так как зерноперерабатывающее оборудование является сложной системой, состоящей из значительного количества восстанавливаемых элементов. Следовательно, физическая сущность управления эффективностью и надежностью может быть выполнена по оценкам Литвана–Ушакова, методу М.В. Бубкова и других учёных, причем основой оценок служат результаты моделирования зерноперерабатывающих предприятий как марковских сетей или систем массового обслуживания. Пуассоновский входящий поток позволяет использовать аналитические методы данной теории.

В предположении пуассоновского входящего потока заявок и экспоненциального механизма обслуживания обосновано применение аналитических зависимостей теории массового обслуживания для централизованной и комбинированной систем организации технического сервиса зерноперерабатывающих предприятий. Разработаны математические

модели для выбора наиболее эффективных организационных схем технического сервиса и обоснования его режимов и параметров. Зерноперерабатывающие предприятия можно разделить на зерноперерабатывающую систему и подсистему технического сервиса, характеризующиеся как система массового обслуживания: замкнутая, с постами обслуживания, с очередью и ожиданием в очереди, с экспоненциальным механизмом обслуживания и входящим потоком Пуассона. Она описывается известными из теории случайных процессов системой рекуррентных уравнений. Системы могут быть использованы в математической модели организации технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия. Полученная модель имеет экстремум, который можно использовать для установления рационального баланса средств, затрачиваемых на технический сервис и на зерноперерабатывающую систему.

ГЛАВА 4 4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

4.1 Технологические системы и модели их надёжности

Технологическая система (ТС) – совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций [89].

Существуют уровни технологических систем:

1) технологические системы операций;
2) технологические системы процессов;
3) технологические системы производственных подразделений;
4) технологические системы предприятий.

Работоспособным состоянием ТС считается состояние, при котором, значения параметров и показателей качества изготовляемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической, конструкторской и технологической документации.

Неработоспособное состояние ТС характеризуется состоянием функционального или параметрического отказа.

Функциональный отказ связан с потерей функционирования и остановкой системы по причине технических неисправностей объектов, организации работы или природно-производственных условий.

При параметрическом отказе сохраняется функционирование ТС, но происходит выход значений одного или нескольких параметров технологического процесса за пределы, установленные в нормативно-технической, конструкторской и технологической документации. Различают параметрические отказы ТС по параметрам качества продукции, производительности ТС и по материальным (стоимостным) затратам [82, 84].

К показателям надёжности технологических систем (комплексов) относят:

1) вероятность безотказной работы ТС по параметрам продукции – вероятность того, что в пределах заданной наработки не произойдёт отказа технологической системы по параметрам изготовляемой продукции (параметрам производительности, затратам);
2) назначенная наработка технологического комплекса до подналадки – наработка ТК, по истечении которой должна быть произведена подналадка средств технологического оснащения;
3) коэффициент использования ТС – отношение средней продолжительности пребывания ТС в работоспособном состоянии к значению номинального фонда времени за рассматриваемый период;
4) коэффициент выхода годной продукции для ТС – отношение среднего значения объёма годной продукции ТС к объёму всей

изготовленной ею продукции за рассматриваемый интервал времени;

5) коэффициент сохранения производительности ТС – отношение среднего значения объёма выпуска технологической системой годной продукции за рассматриваемый интервал времени к его номинальному значению, вычисленному при условии, что отказы ТС не возникают;

6) коэффициент расхода *i*-го вида материальных (стоимостных) затрат – отношение среднего расхода *i*-го вида материальных (стоимостных) затрат на изготовление продукции за рассматриваемый интервал времени к его номинальному значению, вычисленному при условии, что отказы ТС не возникают:

$$K_{МЗ}^{i} = \frac{C_{Ф}^{i}}{C_{ном}^{i}}. \qquad (4.1)$$

Машинно-тракторный парк, отдельные агрегаты, механизаторы и работники инженерно-технических служб (ИТС) образуют технологическую систему растениеводческого предприятия, которая состоит из технологических систем эксплуатации машин и оборудования и технологических систем отдельных процессов и операций растениеводства. В качестве технологических систем операций можно рассматривать группы машин и исполнителей работ, выполняющие одну сельскохозяйственную операцию (вспашка, опрыскивание, посев и т.д.).

Виды ТС операций растениеводства мы предлагаем классифицировать в варианте, показанном в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Виды сервисных операций в растениеводстве

Виды ТС операций	Пример
Простая ТС операции – состоящая из двух и более агрегатов однотипного марочного состава, выполняющих операцию без вспомогательных агрегатов	1) Агрегаты К-701+ПЛН-8-40 на пахоте; 2) Агрегаты МТЗ-1221+КПС-5 на культивации
Составная ТС операции – состоящая из двух и более агрегатов разномарочного состава, выполняющих операцию без вспомогательных агрегатов	1) Агрегаты К-701+ПЛН-8-40, К-701+ПЛН-9-35, МТЗ-1221+ПН-4-35 на пахоте; 2) Агрегаты МТЗ-1221+КПС-5, ХТЗ-121+3КПС-4,0 на культивации
Комплексная ТС операции – состоящая из двух и более основных агрегатов одномарочного или разномарочного состава, выполняющих операцию во взаимодействии с вспомогательными или транспортными агрегатами	1) Комбайны «Вектор», Енисей–1200 и транспортные агрегаты МТЗ-80.1+2ПТС-4 на уборке зерновых; 2) Основные МТА МТЗ-82.1+ОП-2000-1 и вспомогательные МТА МТЗ-950+АПЖ-12 на опрыскивании.

Себестоимость и качество продукции растениеводства определяется именно надёжностью технологических систем. Наши исследования говорят о том, что большая часть технологических систем операций растениеводства

находится в состоянии параметрических отказов по параметрам расхода материальных ресурсов и производительности. Именно на этом нижнем уровне иерархии ТС всего предприятия формируется её надёжность.

Исследования в области эксплуатации сложных систем [103, 104] показывают, что надёжность сложной технологической системы обеспечивается не только надёжностью отдельных технических объектов, из которых состоит система, но и организацией работы исполнителей, а также организацией управляющей системы, т.е. ИТС. Таким образом, низкий уровень надёжности технологических систем растениеводства является не только результатом негативных макроэкономических процессов, но и результатом кризиса инженерной сферы предприятий АПК.

Моделированию надёжности технических объектов и систем посвятили свои труды Д.Р. Кокс [52], В.Л. Смит, Ф. Байхельт [8], Ф. Прошан, Р. Барлоу [9, 10], К. Райншке, И.А. Ушаков и др.

В основе многих теоретических предпосылок рассматривается случайная величина *x*, имеющая функцию распределения *F(x)*, при этом:

$$f(x) = F'(x), \tag{4.2}$$

$$F(x)=P\{X\le x\}= \int_0^{\infty} f(u)du, \tag{4.3}$$

где *x* – параметр надёжности;

F(x) – функция надёжности.

Функция надёжности имеет вид [109]:

$$F(x)=P\{X>x\}=1-F(x) \tag{4.4}$$

и означает, что элемент не откажет до момента времени *x*.

Плотности распределения *f(x)* соответствует функция интенсивности отказов $\varphi(x)$

$$f(x) = \varphi(x)exp\{- \int \varphi(u)du \}. \tag{4.5}$$

Сложные системы эксплуатации машин и оборудования могут быть идентифицированы моделями надёжности систем с разветвленной структурой. Как обслуживаемые, так и необслуживаемые, с резервированием и без него [105].

В общем случае надёжность системы R_c с разветвлённой структурой рассчитывается способом Эзари и Прошана: это способ вычисления верхней и нижней границ надёжности по минимальному пути [9, 10]:

$$F(t)= \sum_{e\in E} P(e). \tag{4.6}$$

Академик Липкович Э.И. рассматривает управление сельскохозяйственными производственными системами как сложный динамический процесс, имеющий стохастический характер. Для уровня сельскохозяйственного предприятия автор рассматривает работу системы управления, которая получает информацию о функционировании объекта управления. На основании обработки информации система определяет и анализирует текущий режим работы объекта, выявляет необходимость в изменении режима функционирования и проверяет технологическую

возможность требуемого изменения.

Общая схема информационного взаимодействия в управляющих подсистемах различных уровней показана на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Схема информационного взаимодействия в управляющих системах

Управление надёжностью может быть обосновано с использованием разработок Дж. Неймана, Э. Мура и К. Шеннона, основанных на использовании избыточности (временной, структурной); введении обратной отрицательной связи в подсистеме инженерной службы. При этом ИТС должна быть преобразована в службу надёжности, которая будет управлять эксплуатацией машин и оборудования путём выбора оптимального решения из альтернатив.

Широкий перечень моделей надёжности ТС эксплуатации машин и оборудования, состоящих из линейных и последовательных элементов, для различных законов распределения функции *f(x)* представлен в работе В.Н. Курочкина [105]. Большинство из моделей носит статистический характер и основывается на теории массового обслуживания и теории графов [62, 63, 64,

68].

Основы эффективности и надёжности технологических систем АПК рассмотрены в работах [105, 108, 116]. Надежность систем эксплуатации технических средств связывают со свойством системы заданное время сохранять возложенные на неё функции, несмотря на отклонение в ее структуре и организации.

Применительно к технологическим системам эксплуатации машин и оборудования проблема надежности может формулироваться как разработка средств, механизмов функционирования, методов, математических и технико-технологических структур, обеспечивающих сохранение заданных параметров системы в течении данного характерного периода работ [105].

В данной работе мы сконцентрируем внимание на методах расчёта показателей надёжности ТС непосредственно в процессе управления надёжностью и эффективностью существующих в производстве ТС. По мнению [105] это перспективное направление, но для его реализации необходимы два условия:

- принципиально новая структура ИТС;
- оснащение ПЭВМ, экспертными системами и математическими моделями (пакетом программ).

Следует отметить, что в направлении разработки экспертных систем ведутся довольно интенсивные исследования. Так интересна работа [96, 143], автор которой рассматривает вопросы повышения эффективности и технологической надёжности зерноуборочных комбайнов методами экспертных знаний. Использование в процессе обслуживания комбайнов карманных КПК с базой данных по регулировочным параметрам и методам технологической настройки позволяет существенно снизить время простоев комбайнов по технологическим причинам. Наряду с внешними экспертными системами ведутся разработки бортовых экспертных систем для диагностирования техники в процессе эксплуатации [142, 143].

Одной из задач данной работы является исследование влияния информационных технологий на надёжность ТС растениеводства. Расчёт параметров надёжности в основном будем рассматривать на примере ТС отдельных операций.

В дальнейшем это служит базой для разработки методов управления ТС процессов и целых предприятий в реальных условиях производства.

Методология управления ТС отдельных операций будет базироваться на автоматизации рабочих мест ИТР, совершенствовании механизмов сбора первичных данных о работе машин, методов обработки данных и представлении в виде пригодном для принятия управленческих решений. Это первый шаг к созданию технологии ресурсосберегающего управления машинными парками предприятий.

Выше было отмечено, что надежность технологических систем в растениеводстве определяется интенсивностью появления параметрических отказов по производительности и затратам. Это, так называемые, скрытые

параметрические отказы, когда система продолжает функционировать, но имеет место перерасход средств или снижение производительности. Выявить оперативно такой отказ при низком уровне развития внутрихозяйственных систем контролинга в современных сельхозпредприятиях не всегда возможно.

Нами были изучены факторы, определяющие надежность технологических систем в современном растениеводстве (рисунок 4.2) [92].

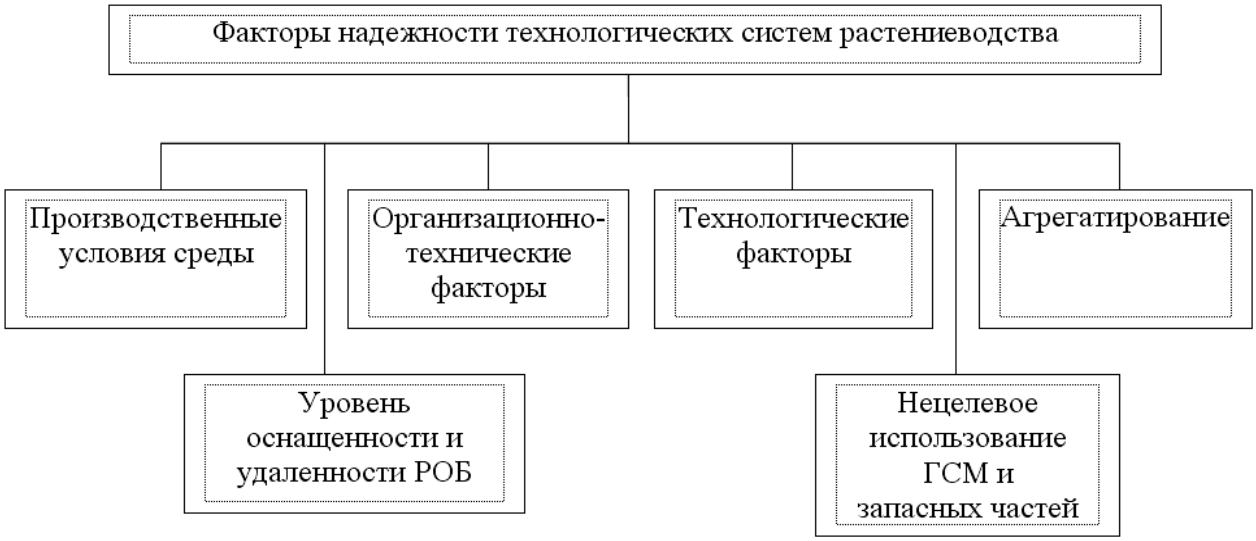


Рисунок 4.2 – Основные факторы надежности технологических систем растениеводства

Одним из основных видов материальных затрат для МТП являются затраты на топливо и запасные части. Влиянию нецелевого использования ГСМ и запасных частей на надежность технологической системы растениеводства в большинстве исследований не придается большого значения.

Вместе с тем, данное явление в реальном производстве приводит к существенным экономическим убыткам предприятия. Снизить негативное влияние данного фактора на надежность технологических систем операций можно путем организации постоянного контроля за МТП с применением новых информационных технологий. Практика показывает, что применение традиционной бумажной системы управленческого контроля не позволяет своевременно следить за отклонением производительности и расхода топлива агрегатами от действующих норм. Информация об этих отклонениях появляется зачастую в конце периода работ, когда исправить ситуацию уже нельзя. Более того, вследствие большой трудоёмкости работ инженеры многих предприятий игнорируют эту задачу. В результате предприятие несёт существенные убытки. Применение новых информационных технологий позволит минимизировать затраты времени на обработку информации и своевременно фиксировать параметрические отказы технологических систем операций, а также устранить нецелевое использование топлива и запчастей.

Из таблицы 4.2 видно, что предприятие с развитым производством зерновых и овощеводством имеет за сезон существенные убытки при отсутствии оперативного контроля расхода топлива на операциях. Основными причинами перерасхода топлива являются неудовлетворительное техническое состояние двигателей тракторов, нецелевое использование ГСМ и недостаточная организация полевых работ.

Таблица 4.2 – Экономический ущерб, вызванный отказом технологических систем растениеводства по параметру расход топлива

Наименование операции	Перерасход топлива на 100 га, кг	Величина ущерба на 100 га, руб.
Боронование зяби и многолетних трав	до 22	517
Весенняя культивация с боронованием	до 76	1 778
Сев зерновых	до 33	776
Сев пропашных	до 10,5	247
Посев овощных	до 32	753
Внесение минеральных удобрений	до 17,4	409
Междурядная обработка	до 26,8	630
Уборка зерновых	до 25	588
Полив	до 30	571
Опрыскивание	до 7	164
Скашивание трав	до 26	612
Дискование поля	до 43	1 012
Вспашка старопахотных земель	до 45	1 060
Скашивание ботвы овощных	до 30	706

В качестве базы сравнения мы принимали нормы расхода топлива при операциях, действующие на предприятиях. В расчётах мы фиксировали случаи, когда фактический расход топлива на операциях превышал нормативный расход более чем на 10%. Это классифицировалось как отказ технологической системы операции по параметру расхода топлива. Скрытые параметрические отказы наносят существенный экономический ущерб предприятию. Параметры качества выполнения сельскохозяйственных работ контролируются агрономическими службами предприятий. Управление производительностью и потреблением ресурсов ТС является инженерной задачей, которая должна решаться оперативно в период выполнения полевых работ с применением автоматизированной системы управления. Процесс управления работоспособностью ТС операций по группе параметров качества, производительности и расхода ресурсов подразделяется на ряд этапов (рисунок 4.3).

Данные этапы, применительно к растениеводству, можно реально реализовать в трех вариантах:

1) применяются бумажные носители первичной информации и

оперативной отчетности о показателях работы полевых агрегатов и потребляемых ими ресурсах, с ручной обработкой данных;

2) процесс анализа информации и составления отчетности для контроля автоматизирован и осуществляется с помощью специализированных компьютерных программ. При этом первичная информация с бумажных носителей вносится в единую базу данных управленческой системы предприятия;

3) мобильные энергетические средства в предприятии оснащены бортовыми информационными системами, осуществляющими эксплуатационно-технологический мониторинг агрегатов в процессе их работы.



Рисунок 4.3 – Этапы процесса параметрического управления работоспособностью ТС операции

Позиционирование, состояние технических объектов, качество технологических операций, объем выполненных работ и расчет текущих затрат могут быть определены менеджером в офисе в режиме реального времени, посредством GPS-навигации. Последний вариант организации системы контролинга содержит элементы технологии прецизионного земледелия, ориентированного на применение техники нового поколения. Это самый перспективный вариант контроля производства, отличающийся точностью, оперативной и малой трудоемкостью работ при обработке информации. Но он требует больших финансовых затрат, по этой причине на территории Российской Федерации прецизионное земледелие практикуют не более пяти процентов предприятий.

Большинство отечественных аграрных предприятий используют примитивные бумажные системы контроля, зачастую потребляющие информацию из базы данных внутрифирменной управленческой (бухгалтерской) системы через детерминированные промежутки времени. Этот процесс автоматизирован не на всех предприятиях. Главный недостаток этих систем в том, что контроль осуществляется только лишь за финансовыми потоками, и они не обладают необходимой оперативностью.

Второй вариант системы контролинга операций в растениеводстве

наиболее доступен современным сельскохозяйственным предприятиям. Здесь возникает задача разработки информационных систем и создания на их базе автоматизированных рабочих мест (АРМ) для учетчиков механизированных бригад и инженерно-технических работников предприятия.

Графическая интерпретация модели системы управления надёжностью ТС операции по группе параметров показана на рисунке 4.4.

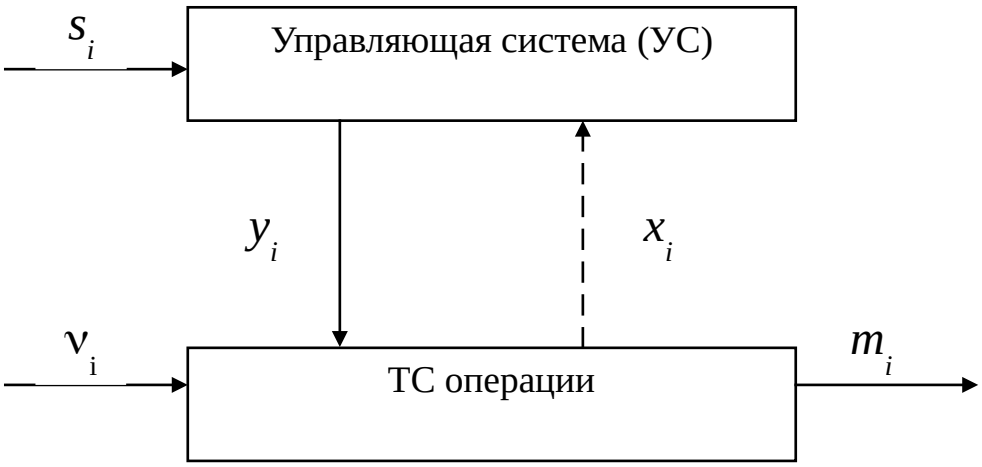


Рисунок 4.4 – Модель системы управления надёжностью ТС операции

Математически такую модель можно представить в виде системы отображений [92]:

$$\left.\begin{array}{l} ТС: V \cap Y \rightarrow M, \\ УС: S \cap X \rightarrow Y \end{array}\right\}, \qquad (4.7)$$

где M – множество выходных параметров надёжности ТС, $m_i \in M$;

V – множество внешних возмущений ТС, $\nu_i \in V$;

Y – множество управляющих воздействий на ТС, $y_i \in Y$;

X – множество сигналов обратной связи, $x_i \in X$;

E – множество возмущающих сигналов управляющей системы УС, $s_i \in S$.

Организацию системы управления в рамках данной модели можно оценить по группе критериев:

$$W \rightarrow W_{норм}, \quad K^i \rightarrow [\, K^i_{\min}, \, K^i_{\max} \,], \qquad (4.8)$$

где W – фактическая производительность системы, га;

$W_{норм}$ – нормативная производительность по документации предприятия, га;

$K^i, K^i_{\min}, K^i_{\max}$ – соответственно фактическое, минимальное и максимальное допускаемые значения коэффициента расхода i-го вида материальных затрат.

Предельные значения коэффициента расхода конкретных затрат ТС в условиях предприятия определяет группа инженерно-экономических специалистов экспертным путём с использованием официальных типовых нормативных документов.

Для коэффициента расхода материальных (стоимостных) затрат на топливо можно записать [115]:

$$K_T = G_{Tф} / G_{Tном}. \quad (4.9)$$

Средние фактические и нормативные величины затрат на топливо $G_{Tф}$ и $G_{Tном}$ при выполнении конкретной операции на площади S будут иметь значения:

$$\left\{ \begin{matrix} G_{Tф} = q_ф \cdot S \cdot Ц \\ G_{Tном} = q_{ном} \cdot S \cdot Ц \end{matrix} \right\}, \quad (4.10)$$

где $q_ф$, $q_{ном}$, – соответственно фактический и номинальный удельный расход топлива, кг/га;

$Ц$ – цена 1 кг топлива,

тогда:

$$K_T = \frac{q_ф \cdot S \cdot Ц}{q_{ном} \cdot S \cdot Ц} = \frac{q_ф}{q_{ном}} \quad . \quad (4.11)$$

При выполнении комплекса n технологических операций

$$K_T = \frac{\sum_1^n \left(q_ф^i \cdot S_i \right)}{\sum_1^n \left(q_{ном}^i \cdot S_i \right)}. \quad (4.12)$$

Коэффициент K_T является случайной величиной, так как фактический расход топлива на операциях имеет вероятностный характер. Необходимо оценить влияние информационных систем на снижение удельного расхода топлива агрегатами и в целом на коэффициент K_T.

Построение модели с дальнейшим получением функциональной зависимости здесь практически невозможно, поэтому предлагается использовать методы статистического исследования, т.е. стоит задача оценки статистических характеристик рассматриваемого параметра надёжности K_T до применения в предприятии новой системы контроля, и после её внедрения. Оптимальным значением показателя надежности является $K_T = 1$. В реальном производстве для коэффициента расхода ресурсов K_T чаще рассматривается условие:

$$K_T \to 1. \quad (4.13)$$

Это условие означает, что при выполнении операций расход материальных ресурсов незначительно отличается (в допустимых пределах) от запланированных нормативных значений расхода ресурсов и ТС операции работоспособна по этому параметру. Здесь важен вопрос нормирования предельных значений K_T на каждой из операций. Как было отмечено выше, в конкретном предприятии эта задача может решаться экспертным путём.

Информация о случайной величине считается достаточной, если известны её среднее значение и среднеквадратическое отклонение (для нормального закона распределения) или закон распределения случайной величины и ее математическое ожидание.

Внедрение программных комплексов позволяющих оперативно вести обработку первичной информации о работе МТА предположительно должно снижать фактический средний удельный расход топлива на операции (рисунок 4.5) на некоторую величину $\Delta q_ф$:

$$\Delta q_{фi} = q_{фi}^1 - q_{фi}^2, \quad (4.14)$$

где $q^1_{фi}, q^2_{фi}$ – соответственно фактический средний расход топлива на *i*-ой операции до и после внедрения информационных систем, кг/га.

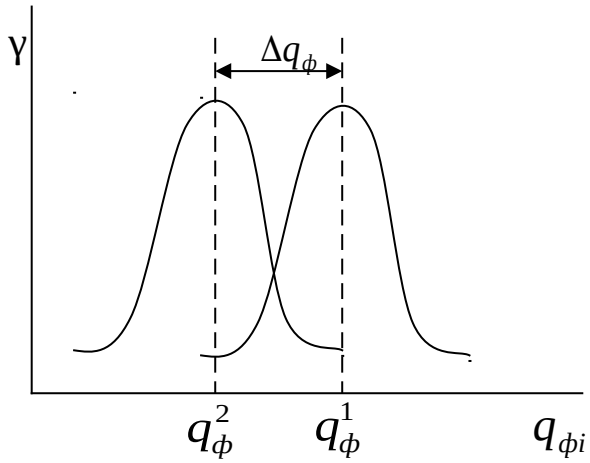


Рисунок 4.5 – Плотности распределения удельного расхода топлива на операции

Оценка влияния компьютерных программ на потребление запасных частей (коэффициент $K_{зч}$) должна вестись с позиций возможного снижения затрат на запасные части путём планирования обеспеченности и контроля за их расходом, а также снижения времени технического персонала на поиск и оформление складских материалов и как следствие снижение простоев машин в ожидании обслуживания.

4.2 Ресурсосберегающая технология управления машинными парками предприятия

В соответствии со стратегией машинно-технологического обеспечения отечественного растениеводства и животноводства [92], ресурсосберегающие технологии эксплуатации машин и оборудования являются основой обеспечения конкурентоспособности отраслей.

Ресурсосберегающая технология управления – это, прежде всего, информационная технология, регламентирующая внутреннее информационное поле инженерных служб предприятия и связывающая процессы сбора, обработки первичной информации и принятия решений. Поэтому задача информатизации ИТС, организации внутрихозяйственного и внешнего инженерного мониторинга и оперативного анализа в сфере использования техники является приоритетной.

Контроль расхода всех видов ресурсов является неотъемлемой частью процесса управления производством. В предыдущем пункте мы отметили, что большая часть ТС операций растениеводства пребывает в состоянии параметрических отказов по параметру расхода топлива. При этом время принятия управленческих решений относительно приведения расхода топлива к нормативным значениям существенно запаздывает. Также создаются благоприятные условия для фактора нецелевого использования

топлива.

Наши исследования показывают, что в большинстве сельхозпредприятий методы сбора и обработки информации о надёжности ТС имеют высокую трудоёмкость, а это снижает прозрачность производства. Наши наблюдения показывают, что этой задачей чаще занимаются экономические службы предприятий.

Ремонтные мастерские сельхозпредприятий имеют склады запасных частей, номенклатура которых во многих хозяйствах насчитывает 8–15 тыс. наименований составных частей для тракторов, комбайнов, сельхозмашин и прочего оборудования.

Техники и бухгалтеры складов по-прежнему ведут картотеку складских материалов и весь документооборот на бумажных носителях. Автоматизации подверглись только основные бухгалтерские документы, при этом компьютер находится не в складе, а в центральном офисе предприятия, иногда за десятки километров от склада.

Такой подход затрудняет анализ потребления запчастей по группам машин, а также планирование складских запасов.

Мы неоднократно встречали случаи, когда инженер приобретает запасные части в торгующей организации, не проверив при этом их наличие на собственном складе хозяйства и объясняет свои действия большими затратами времени на данную проверку. Выход из сложившейся ситуации заключается в разработке технологии ресурсосберегающего управления механизированными процессами растениеводства и техническим сервисом машин с применением ПЭВМ [102].

Как было отмечено, уровень информатизации ИТС современных сельских предприятий очень низок. Большинство инженеров в управленческой деятельности продолжают обходиться без компьютеров и специализированного программного обеспечения.

В единичных случаях ими используются универсальные пакеты (типа MSOffice) для решения мелких вопросов. Не более 10% инженеров используют электронные каталоги для поиска запчастей, распространяемые поставщиками и дилерами.

Ни в одном хозяйстве сотрудники инженерной службы на рабочем месте не имеют постоянного доступа в интернет. Диспетчеры автогаражей вручную оформляют путевые листы и ведут отчётность о расходе топлива и пробеге автомобилей.

Причиной такой ситуации является не только низкая платёжеспособность сельхозтоваропроизводителей, но и практическое отсутствие агрософта на отечественном рынке. Крупные аграрные фирмы Европы и Северной Америки оснащены АРМ не только для бухгалтерско-экономических работников, но и для специалистов остальных функциональных служб.

Ряд зарубежных производителей агрософта предлагает инженерным специалистам программно-аппаратные комплексы для навигации и

мониторинга местонахождения технических объектов в рамках региона. Это позволяет вести единую базу данных предприятия и повышает уровень прогнозируемости производства. Применение зарубежного программного обеспечения в нашем агробизнесе сдерживается рядом причин как экономического, так и технологического характера.

Предлагаемая нами информационная технология ресурсосберегающего управления машинными парками предприятия может быть реализована только при наличии в предприятии системы логистики процессов эксплуатации машин и оборудования, технического сервиса и грузоперевозок. Такую интегрированную логистическую систему мы предлагаем строить в рамках одного информационного поля – базы знаний предприятия. Субъектами системы логистики предприятия являются автоматизированные рабочие места специалистов, объединённые в единую информационную сеть, имеющую выход в интернет. Под контролем данной системы должны находиться все виды ресурсов хозяйства – материальные, энергетические, информационные, человеческие. Главным отличием данной информационной технологии от имеющихся на данный день на сельхозпроизводстве бухгалтерских систем является её ориентированность на ведение оперативного производственного учёта, а не только отчётности во внешние фискальные органы и бухгалтерской документации. В новой системе должны быть реализуемы традиционные этапы процессного управления производством [117]:

проектирование процессов → документирование → контроль хода работ → отчётность → оперативный анализ и планирование → стратегическое планирование

Для реализации данных этапов управления нами разработан пакет компьютерных программ «Агрокомплекс» (таблица 4.3), который представляет собой набор АРМ для специалистов различных функциональных служб предприятия [63, 64, 92]. Технология ресурсосберегающего управления машинными парками сельских предприятий подразумевает автоматизацию мест работников, выполняющих первичный учёт и контроль производства, а также специалистов, выполняющих долгосрочное планирование (рисунок 4.6).

Рассматриваемая технология управления реализуется нами на базе информационной системы «Агрокомплекс».

Предлагаемое нами программное обеспечение линейки «Агрокомплекс» включает семь программ, которые в зависимости от уровня настройки, могут использоваться в качестве АРМ учётчика полевой бригады, техника склада запчастей, инженера по эксплуатации МТП или сервису, экономиста, агронома, диспетчера автогаража и др. (таблица 4.3).

Каждая из программ может работать самостоятельно либо в структуре пакета с единой базой данных, доступ к которой организуется по локальной сети. Удалённость подразделений сельскохозяйственного предприятия от

центрального офиса может составлять десятки километров, поэтому программы поддерживают флэш-обмен данными.

Реализация программных продуктов «Агрокомплекс» выполнялась нами в среде разработки Windows-приложений Delphi-2007 с использованием системы управления базами данных Firebird-2,1.

В настоящее время мы продолжаем развивать данную технологию и дополнять её новыми функциональными возможностями.

В рамках технологии ресурсосберегающего управления машинными парками предприятия нами разработан автоматизированный метод управления надёжностью технологических систем операций растениеводства

[63, 64].



Рисунок 4.6 – Организация ресурсосберегающего управления машинными парками предприятия

Реализация данного метода осуществляется путём использования двух

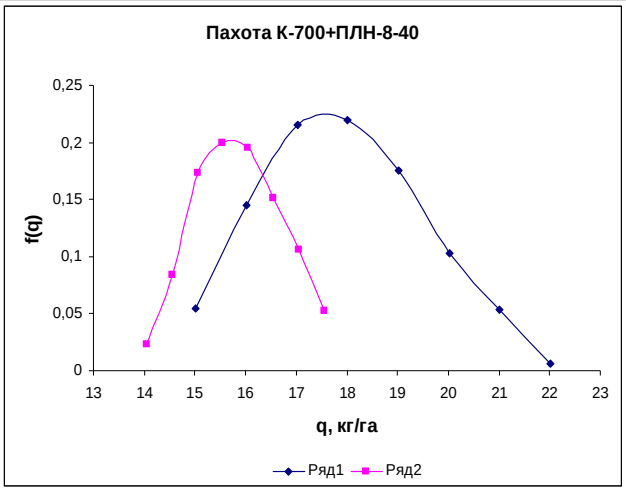
программных продуктов – «МТП» и «НТС-1.0».

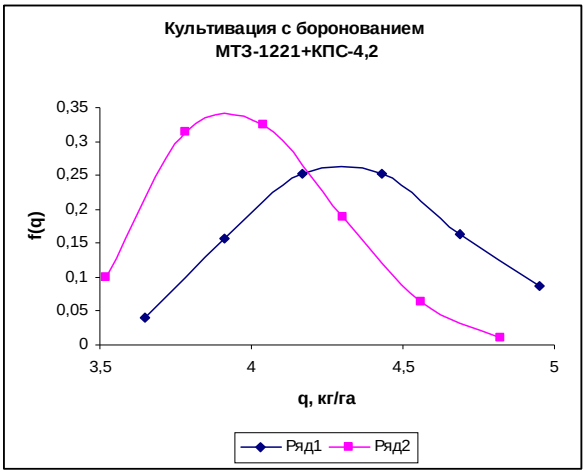
Таблица 4.3 – Структура информационной системы «Агрокомплекс»

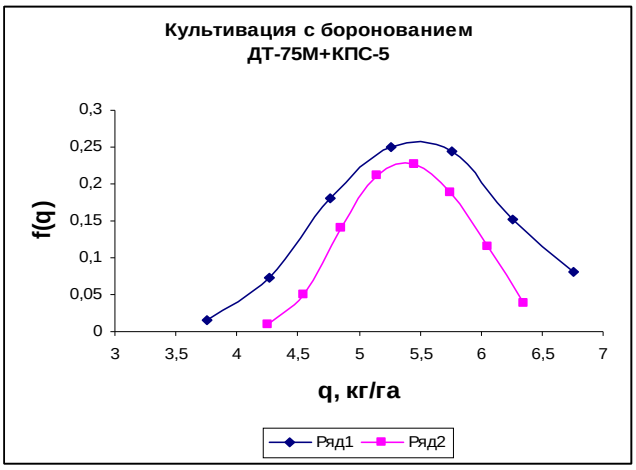
Наименование программы	Назначение, описание	Номер государственной регистрации
«Автопарк»	Предназначена для управления базой данных автомобильных перевозок и является АРМ диспетчера автопарка предприятия	2006610312
«МТП»	Управленческий учёт полевых механизированных работ, анализ расхода топлива и производительности агрегатов, нормативы. В зависимости от настройки является АРМ учётчика, экономиста, инженера по мониторингу работы МТП, фермера	2006611144
«Ресурсы»	АРМ специалистов по техническому сервису, а также техника склада запчастей. Управление складскими запасами, оформление заказов на запчасти, отчётность анализ потребления материалов по группам машин	2006611143
«Агроном»	АРМ агронома. Ведение истории земельных угодий, составление технологических карт на возделывание сельхоз культур	2009610040
«ТехСервис»	Справочная информационная система с базой данных. АРМ мастера-наладчика, инженера по эксплуатации МТП или сервису. Справочная система и база данных о регулировках машин, их хранении и обслуживании	–
«НТС-1.0»	АРМ инженера по эксплуатации МТП или экономиста. Контроль расхода топлива и надёжности технологических систем растениеводства	2010611501
«Инженер»	АРМ главного инженера или зав.	–

	мастерской	

Производственная проверка метода позволила нам сделать вывод о том, что его применение способствует снижению расхода топлива на операциях почвообработки, посева и др. на 13–15% (рисунок 4.7).







Ряд 1 – плотность распределения удельного расхода топлива на операции до внедрения специализированных компьютерных программ.
Ряд 2 – плотность распределения удельного расхода топлива на операции после внедрения специализированных компьютерных программ.

Рисунок 4.7 – Плотности распределения удельного расхода топлива агрегатами

Это объясняется наличием постоянного контроля и повышением прозрачности производства. До минимума снижается нецелевое использование топлива и в минимальное время фиксируется его перерасход, вызванный техническим состоянием машин или организацией работ.

Метод испытывался в хозяйствах Весёловского района Ростовской области, где был проведен статистический анализ значений удельного расхода топлива $q_ф$ и коэффициента K_T на операциях пахоты и культивации с боронованием в период до внедрения контролирующих программ (2004–2006 гг.) и после внедрения (2007–2009 гг.).

Графики плотностей распределения удельного расхода топлива агрегатами на операциях показывают, что для данной случайной величины подходит закон распределения Вейбулла. В ходе практической проверки метода были получены следующие результаты [118, 119].

– на операции пахоты агрегатом К-700А+ПЛН-8-40 средний удельный

расход топлива до внедрения специализированных компьютерных программ составил 17,55 кг/га, после внедрения 15,47 кг/га. Коэффициент $К_Т$ составил соответственно до и после внедрения 1,06 и 0,93;

– на операции культивации с боронованием агрегатом МТЗ-1221+КПС-4,2 средний удельный расход топлива составил соответственно 4,41 кг/га (до внедрения) и 4,04 кг/га (после внедрения) при норме 3,9 кг/га.

Коэффициент расхода материальных затрат на топливо составил соответственно 1,13 и 1,04 на операции культивации с боронованием агрегатом ДТ-75М+КПС-5 средний удельный расход топлива составил соответственно 5,64 кг/га и 5,58 кг/га при принятой на предприятии норме 5,1 кг/га. Коэффициент K_T составил соответственно до и после внедрения 1,11 и 1,09.

Следовательно, можно сделать вывод, что применение специализированных компьютерных программ для автоматизации обработки первичных данных в процессе контроля надежности технологических систем растениеводства позволяет снизить удельный расход топлива на операциях, что является достаточно актуальным в существующих экономических условиях. Контроль такого показателя надежности как коэффициент расхода материальных затрат на топливо позволяет своевременно выявлять параметрические отказы по затратам и оперативно принимать меры по их устранению. Важно, что интерфейс программы «НТС-1.0» прост и нагляден (рисунок 4.8), а это не потребует больших затрат времени на обучение специалистов-пользователей. Более проблематично наладить в предприятии качественный первичный учёт данных о работе машин.

Использование программ «Ресурсы» и «МТП» даёт возможность поддержки планирования всех видов складских запасов и анализа их потребления по группам машин (рисунок 4.8).

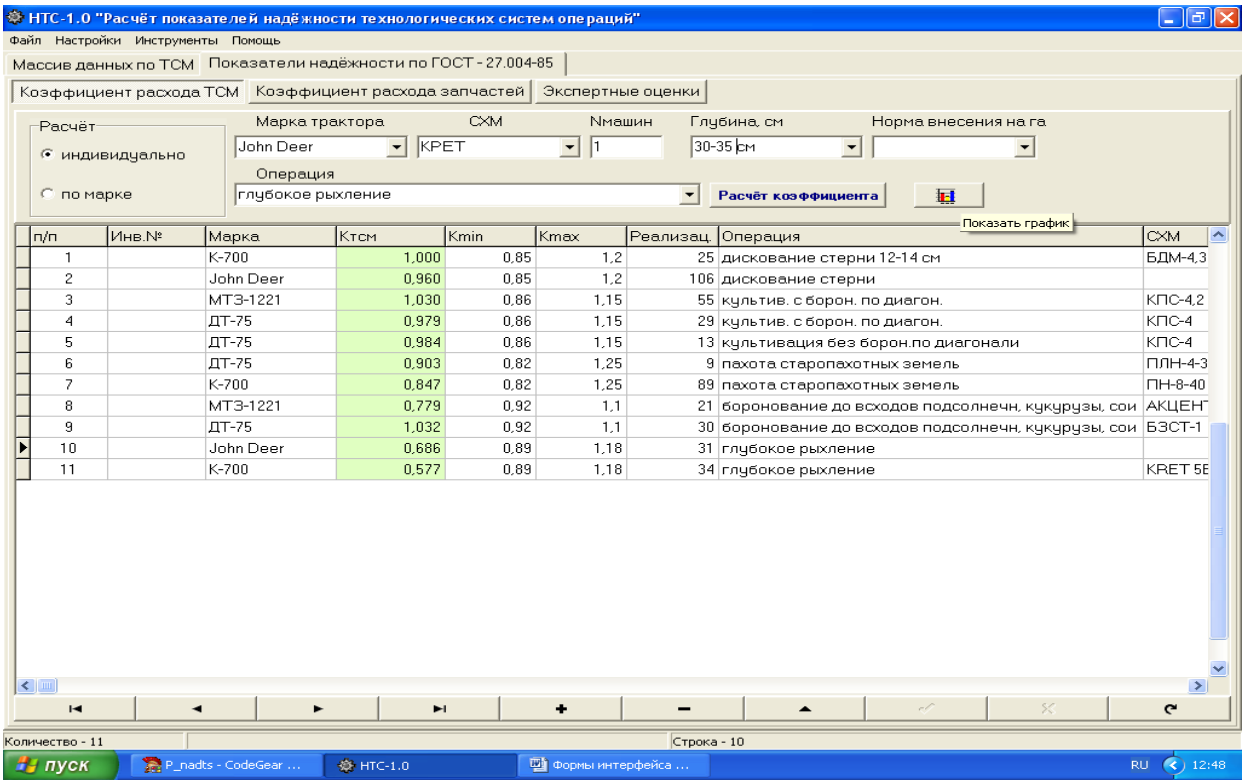


Рисунок 4.8 – Форма окна программы «НТС-1.0» с расчётом коэффициента расхода топлива $K_{тсм}$ по маркам тракторов на операциях почвообработки

Инженерно-экономические службы предприятия получают возможность анализировать выработку машин и сопутствующие ей затраты не в конце квартала или года, а в любой момент. В крупных хозяйствах с парком машин до 100 и более единиц выявляются технические объекты, имеющие большие затраты на сервис и незначительную годовую наработку. Это способствует оптимизации количественного и марочного состава МТП предприятия.

Представленный здесь вариант технологии управления является малобюджетным. Мы оставили без изменения механизмы сбора первичной информации о работе машин в полях. Использование GPS-навигации для позиционирования технических объектов, определения выработки агрегатов и расхода топлива является перспективным. Однако лишь небольшое количество предприятий сможет оплатить затраты на приобретение таких систем и оплату операторов связи. Дальнейшее развитие данной технологии управления мы видим в использовании GPS-навигации и интегрировании с имеющимся на рынке бухгалтерским программным обеспечением.

4.3 Организационные аспекты разработки управленческого программного обеспечения для инженеров

Современная мировая практика информатизации любой отрасли предполагает комплексный подход к автоматизации рабочих мест специалистов всех функциональных служб компании. Таких системных принципов следует также придерживаться при разработке программного обеспечения (ПО) для управления эффективностью и надёжностью ТС растениеводства. Специализированное ПО для инженеров в агробизнесе

должно структурно и функционально быть частью большой информационной системы. Таким образом, выделим ряд требований к перспективному управленческому ПО для инженеров:

- возможность реализации процессного управления;
- интеграция в единую информационную систему (базу знаний);
- взаимодействие с ПО других функциональных служб предприятия;
- интеграция с бортовыми навигационными и информационными системами тракторов, автомобилей и сельхозмашин.

Если проанализировать имеющиеся на рынке информационные технологии, то практически ни одна из них не отвечает в полной мере указанным требованиям. Доминирование в хозяйственной практике бухгалтерских информационных систем абсолютно не позволяет решать задачи оперативного управления растениеводством в целом, не говоря уже о задачах управления надёжностью ТС.

Между тем, вопрос совершенствования систем управления в агробизнесе стоит остро [112] и главный путь его решения – это применение современных информационных технологий с комплексным охватом нужд всех функциональных служб предприятия – бухгалтерских, экономических, инженерных, агрономических и т.д. Такие интегрированные информационные системы называются ERP-системы [62].

Нужно сказать, что в период плановой экономики вопросы системной информатизации АПК и аграрной науки решались централизованно под контролем государства. В 1987 г. была принята Комплексная программа НТП стран-членов СЭВ, одним из заданий которой было 1.2.6 – "Электронизация сельского хозяйства" [120]. Данный период совпал с появлением в АПК значительного количества персональных компьютеров (ПК). Всероссийский научно-исследовательский институт кибернетики (ВНИИК) АПК, как головной НИИ в области информатизации АПК, имея около 150 высококлассных специалистов в области информатизации, к 1990 г. вышел на рубеж промышленной технологии проектирования, внедрения и сопровождения программного обеспечения. С ведущими НИУ АПК было разработано ядро функционально-полных систем управления предприятиями (около 20 типов предприятий), включающих, наряду с бухгалтерскими, технологические, финансовые, организационные и прочие подсистемы, а также ядро баз и банков данных по научным разработкам. Проводилось апробирование разработанных систем на эталонных объектах и массовое их внедрение на предприятиях АПК через специальные центры внедрения и обучения.

С 1998 г. после прекращения государственной поддержки и ликвидации ВНИИК, одновременно с оживлением сельскохозяйственного производства, процесс информатизации АПК перешёл в экстенсивную, неуправляемую фазу. Наиболее сильные предприятия создают собственные информационные службы, остальные вынуждены приобретать отдельные подсистемы, как правило, не связанные между собой ни функционально, ни

информационно, ни эргономически. Как следствие, в сельском хозяйстве доминирует «позадачный» метод разработки и внедрения программного обеспечения, когда приобретаются отдельные, никак не связанные, задачи у различных производителей, хотя в развитых странах давно уже поняли, что только комплексная информатизация предприятий способна дать эффект.

Отсутствие массового применения существующих управленческих систем на сельскохозяйственном производстве сегодня можно объяснить двумя основными причинами.

Во-первых, нехватка опытных специалистов и сложный процесс настройки систем, сопровождающийся реконструкцией управленческих структур предприятия.

Во-вторых, большинство известных на данный день управленческих систем имеют в своей основе концепцию управления путём манипулирования финансовыми потоками [68]. Программная и методологическая реализация концепций внутрихозяйственного управления существенно сложнее реализации бухгалтерского учёта. Руководителю для обоснования управленческих решений недостаточно только бухгалтерских данных, так как они носят комплексный характер и ориентированы во внешние контрольные инстанции. Современное растениеводство или животноводство – это, прежде всего технические, биологические и экологические системы. Например, в случае организации и управления работой машинно-тракторного парка (МТП) мы имеем сложную технологическую систему, и учёт одних лишь стоимостных показателей не позволит до конца разобраться с сущностью протекающих в системе процессов, и найти те рычаги, воздействуя на которые, можно снизить общие издержки или добиться увеличения темпов производства.

Аппарат управления сельскохозяйственным предприятием представляет собой систему, состоящую из отдельных служб. По функциональному признаку все они могут быть объединены в два управленческих блока (рисунок 4.9) [63, 68].

Для представителей технологического блока необходимы более узкоспециализированные программы, оперирующие комплексом показателей, характеризующих технологическую систему. Основные из которых:

- технологические показатели процессов;
- показатели надёжности машин;
- технико-экономические показатели.

Высокий уровень механизации и электрификации процессов в современном производстве делает инженерную службу стержнем технологического блока управления. Разработка специализированных программ для нужд инженерных работников села должна вестись с учётом выше изложенных требований.

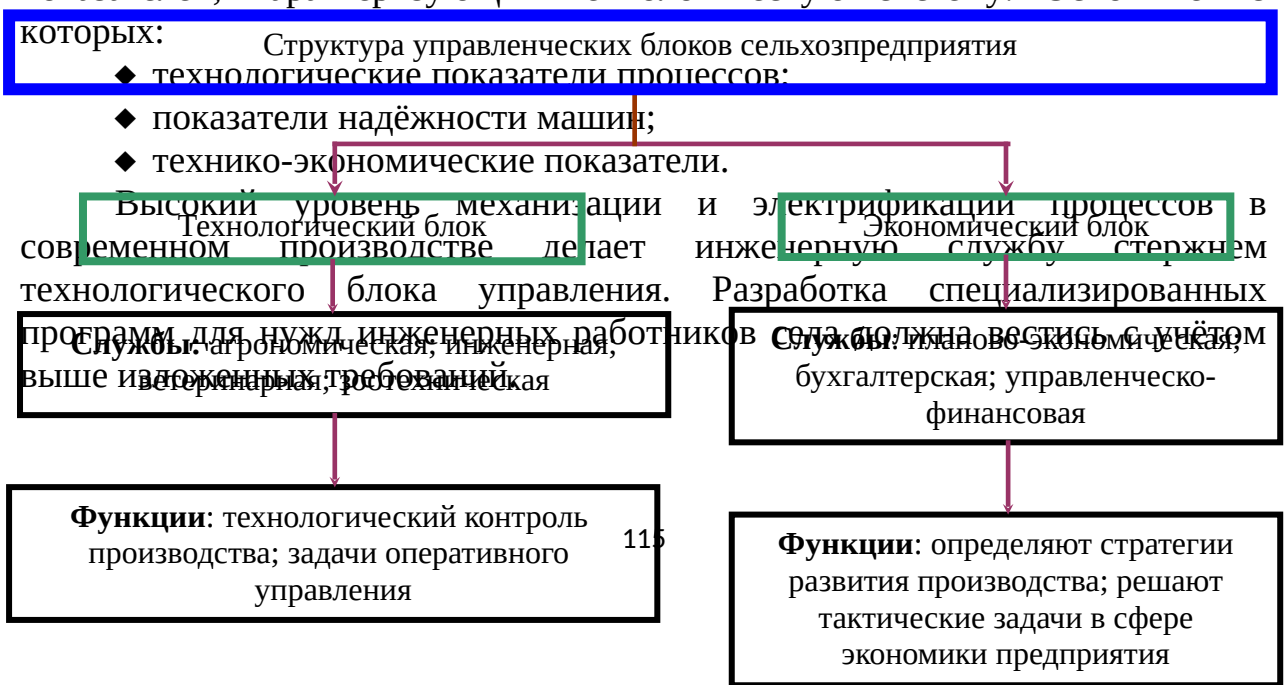


Рисунок 4.9 – Структура управленческих блоков сельхозпредприятия

При проектировании программ информационной системы «Агрокомплекс», мы совместно с экономистами, инженерами и бухгалтерами нескольких десятков предприятий Ростовской области разработали формы документов оперативной отчетности.

Были определены документы первичного бухгалтерского учёта, поддерживаемые программами, чтобы исключить двойной учёт.

В программное обеспечение «Агрокомплекс» заложены следующие принципы – индивидуальный подход к каждой единице техники, подразделению, работнику, возделываемой культуре, технологии, полевой операции, складскому материалу, связь с первичными бухгалтерскими документами, а так же максимальная автоматизация обработки и оформления первичной документации.

Именно на такую методическую базу нашей информационной системы мы ставим дополнительные функциональные возможности, связанные с управлением надёжностью ТС растениеводства.

Логическая структура базы данных «Агрокомплекс» в общем виде представляет собой три взаимосвязанных блока (рисунок 4.10) – рабочий, нормативный и справочный. Система данного класса является шагом к созданию единой информационной среды сельскохозяйственного предприятия.



Рисунок 4.10 – Логическая структура базы данных «Агрокомплекс»

В текущем состоянии система «Агрокомплекс» при некоторой доработке может считаться системой планирования материальных ресурсов под конкретный объём производства – MRP-системой (Material Resource Planning) [62]. Добавление в пакет программ АРМ для бухгалтера обеспечит переход к интегрированной системе ERP.

4.4 Обоснование применения новых информационных технологий управления для ИТС при различных объёмах производства

Концепция информатизации инженерных служб сельских предприятий описана нами в п. 4.2, там же показаны места установки компьютеров и описание локальной сети инженерной службы предприятия (рисунок 4.6).

Проект информатизации ИТС предприятия включает решение задач [61]:

– приобретение компьютеров и коммутационных устройств;
– подключение к сети Интернет;
– приобретение основного программного обеспечения (ПО);
– обучение пользователей ПК;
– приобретение специализированного ПО и его настройка;
– консультирование пользователей по специализированному ПО;
– информационное обслуживание специализированных программ;
– введение в штат ИТС инженеров по мониторингу и анализу производства.

Инновации для инженерной службы предприятия целесообразны, если полученный экономический эффект превысит затраты на содержание инженеров-аналитиков и приобретение информационных технологий.

Величина эффекта, прежде всего, обусловлена снижением экономического ущерба от эксплуатации техники с ухудшенным техническим состоянием, плохой организации работ и перерасхода материалов.

Экономический эффект от рассматриваемого мероприятия можно выразить как разность удельных стоимостей эксплуатации техники до усовершенствования ИТС *Сб* и после усовершенствования *Сн* за вычетом затрат на инновации *Син* за весь срок осуществления мероприятия

$$Э = (C_б - C_н) \cdot W - C_{ин}, \qquad (4.15)$$

где W – объём работ, выполненных МТП за период мероприятия, усл.эт.га.

Мы считаем, что внедрение новых функций ИТС отразится не на всех

статьях эксплуатационных затрат МТП, а лишь на отдельных статьях – затраты на ГСМ, запчасти, ремонтные работы.

Сумму перечисленных затрат можно принимать в расчётах как стоимость эксплуатации технических объектов.

Внедрение мероприятий по усовершенствованию и информатизации ИТС предприятия может осуществляться в двух направлениях:

1) информационно-аналитические и мониторинговые функции распределяются между имеющимися специалистами инженерной службы;

2) в штат вводятся дополнительные должности инженеров-аналитиков или создаётся специальный мониторинговый отдел в структуре ИТС.

В первом случае величина затрат на инновации $C_{ин}$ определяется выражением

$$C^1_{ИН} = C_{ПК} + C_{ПО} + C_{СПО} + C_{Об} + C_{ИОК}, \quad (4.16)$$

где $C_{ПК}$ – стоимость компьютеров и коммутационных устройств, руб.;

$C_{ПО}$ – стоимость основного лицензионного программного обеспечения, руб.;

$C_{СПО}$ – стоимость специальных программ и их настройки, руб.;

$C_{Об}$ – стоимость обучения пользователей ПК, руб.;

$C_{ИОК}$ – стоимость информационного обслуживания специализированного ПО и консультирование пользователей, руб.

Данный случай характерен для небольших предприятий. Разновременные затраты целесообразно привести к единому моменту времени.

Для предприятий с большим количественным составом МТП и холдингов подходит второй вариант с введением в штат ИТС дополнительных сотрудников. В этом случае затраты на инновации будут равны:

$$C^2_{ин} = C^1_{ин} + C_{спец}, \quad (4.17)$$

где $C_{спец}$ – затраты на содержание дополнительных сотрудников ИТС, руб.

В научном и практическом плане представляет большой интерес разработка экономико-математическая модели, позволяющей вести расчёт целесообразности применения информационных систем и введения дополнительных должностей инженеров-аналитиков для конкретных условий и объёмов производства. Критериальным условием принятия инноваций в данной модели является превышение экономического эффекта (дохода) от инноваций над затратами, необходимыми для их внедрения (рисунок 4.11).

$$Э > C_{ин}. \quad (4.18)$$

На рисунке 4.11 точка 1 соответствует нижней границе экономического эффекта $Э_1$ от применения новых технологий управления без введения дополнительных штатных сотрудников ИТС.

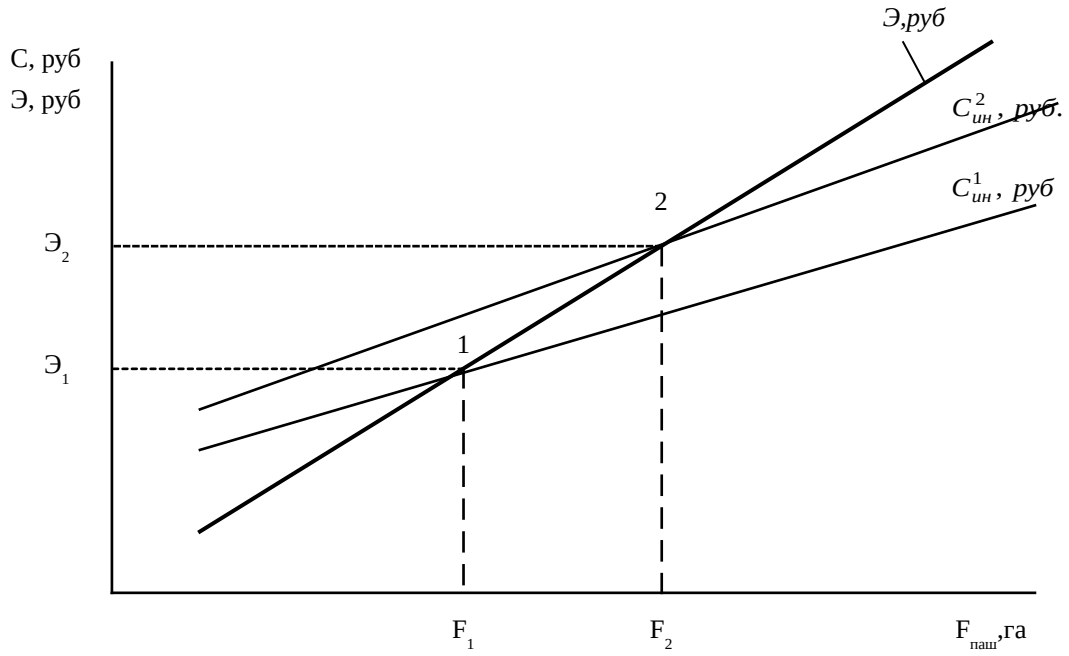


Рисунок 4.11 – Диаграмма эффективности информационных технологий в системе ИТС предприятий с различной площадью пашни

Данный эффект может быть достигнут в предприятии при выполнении комплекса полевых операций на площади не менее F_1 га. Точка 2 соответствует минимальному экономическому эффекту $Э_2$ при введении дополнительных сотрудников и объёмах пашни на предприятии не менее F_2, т.е. площади F_1 и F_2 характеризуют минимальные значения объёмов производства, при которых целесообразно применение новых информационных технологий и дополнительных штатных сотрудников ИТС. Такие диаграммы целесообразно использовать при разработке типовых проектов информатизации ИТС предприятий различного отраслевого

направления.

Обоснование дополнительных рабочих мест ИТР, осуществляющих мониторинг механизированных процессов растениеводства, здесь выполняется по принципу приоритета структуры над функциями [78].

В действующей ИТС со временем создаётся уникальная организационная структура, благотворно влияющая на деятельность предприятия. Для сохранения этого благополучия имеется очень небольшой диапазон изменения этой структуры, путём ликвидации, расширения или добавления отдельных звеньев. Эти изменения возникают при необходимости ввода новых или сокращения старых функций производства и управления. Если при превышении этого диапазона ИТС не справляется с новыми функциями, то происходит кардинальное изменение её структуры.

4.5 Выводы

Надёжность технологических систем растениеводства существенно определяет себестоимость и качество производимой продукции. Контроль и управление надёжностью ТС отдельных операций составляет основу ресурсосбережения в растениеводстве. Автором приведены значения экономического ущерба, вызванные отказом реальных технологических систем растениеводства по параметру «расход топлива». Рассмотрены производственные факторы надёжности ТС, среди которых особое место занимают нецелевое использование топлива и запасных частей. Снизить действие данных негативных факторов можно, если обеспечить систему внутрихозяйственного контроля современными техсредствами – компьютерными системами сбора и обработки информации (СОИ). Основным исполнителем контрольно-управляющей функции должны быть работники ИТС предприятия.

Одним из главных предназначений ИТС на ближайшую перспективу можно считать задачу управления надёжностью технологических систем предприятия.

Автор представил краткий обзор методов моделирования надёжности сложных систем. Применительно к технологическим системам АПК выявлен перспективный подход расчёта показателей надёжности ТС непосредственно в процессе управления надёжностью и эффективностью существующих в производстве ТС. Особое значение отведено устранению параметрических отказов ТС.

Рассмотрены этапы управления работоспособностью ТС по параметрам качества, производительности и расхода материальных средств. Предложена математическая модель управления надёжностью ТС операций по параметру расхода топлива.

Разработана ресурсосберегающая технология управления машинными парками предприятия и автоматизированный метод управления надёжностью

ТС операций по параметрам расхода материальных затрат. Производственная проверка метода и технологии показывает их практическую значимость в вопросах планирования и управления растениеводством. Представленные методы управления позволяют реализовать потенциальные возможности машин, снизить на 13–15% затраты на топливо, а также способствуют оперативному принятию управленческих решений.

Рассмотрен системный подход к информатизации инженерной сферы предприятий. Программные разработки автора отвечают современным требованиям к оснащению рабочих мест инженерно-экономических специалистов сельских предприятий и повышают культуру управления производством.

Предложен метод обоснования применения новых технологий управления и ввода в штат дополнительных инженеров-аналитиков для различных объёмов производства. Метод основан на критерии превышения дохода от инноваций в инженерной сфере над расходами, необходимыми для их внедрения. Ввод дополнительных сотрудников в штат при этом осуществляется по принципу приоритета структуры над функциями. Данный метод может использоваться в дальнейших исследованиях вопроса, направленных на разработку типовых проектов информатизации ИТС сельскохозяйственных предприятий различной мощности и отраслевого направления.

ГЛАВА 5 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

5.1 Программа экспериментальных исследований

Рассмотрим программу исследований (рисунок 5.1)



Рисунок 5.1 – План экспериментальных исследований

5.2 Методика проведения «пассивного» эксперимента и обоснование репрезентативной выборки

В качестве объектов для проведения экспериментальных исследований выбрали зерноперерабатывающее оборудование административного района, имеющие наиболее типичные показатели их производственной деятельности и ремонтно-обслуживающие базы.

Планирование пассивного эксперимента состояло в определении необходимого количества повторностей. Для этого необходимо было провести массовые наблюдения за зерноперерабатывающими предприятиями Зерноградского района, выбранного в результате применения методики априорного ранжирования. Общая методика исследования приведена в приложении 4.

Особое внимание уделялось изучению потоков требований зерноперерабатывающего оборудования на устранение внезапных отказов (неплановых текущих ремонтов). Для определения их количества и трудоемкости учитывались случайный характер потоков требований, трудоемкость и продолжительность их обслуживания.

Методика обработки экспериментальных исследований включала необходимость проведения статистической обработки выборок, проверку гипотезы о виде законов распределения и получения критериев достоверности и адекватности полученных результатов.

Методика основывалась на соответствии между программой анализа и отбором совокупности однородных объектов из генеральной совокупности. При таком подходе необходимо было решить вопрос о таком количестве наблюдений, которое бы обеспечило достоверную оценку исследуемых параметров и репрезентативность выборки.

При нормальном распределении число реализаций рассчитывается по формуле [124]

$$n = \frac{\upsilon^2 \cdot t_\alpha^2}{\Delta^2}, \qquad (5.1)$$

где υ – коэффициент вариации измеряемой величины;

t_α – статистика Стьюдента, зависящая от принятой доверительной вероятности;

Δ – относительная ошибка.

Выборка считалась представительной, если при относительной ошибке 0,10 и вероятности 0,90 число измерений было не меньше расчетного значения n.

В случае, когда предварительный анализ показывал, что распределение существенно отличается от нормального, то относительная ошибка рассчитывалась аналогичным образом после выбора соответствующего закона распределения. Если она при вероятности 0,90 не превышала 0,10, то выборка также считалась репрезентативной [124].

Принимался такой план наблюдений, который предусматривал, что в течении времени t под наблюдение будут взяты n зерноперерабатывающих машин и оборудования до поступления от них k требований на устранение отказов и восстановление работоспособности. Другими словами, необходимо было определить достаточное количество требований k, по назначению которого устанавливается минимальное число наблюдаемых машин [28].

Для оценки выборочной совокупности, зная закон распределения случайной величины, необходимо минимизировать отклонение от некоторой допустимой ошибки ε с доверительной вероятностью β разности между выборочной средней $\tilde{x}$ и генеральной $\overline{x}$. Известно, что при очень большом значении выборочной совокупности с большей вероятностью весьма близка к $\tilde{x}$, при малом – замена этих величин приводит к определенной ошибке, которая в общем случае, тем больше, чем меньше значение выборочной совокупности [28].

Если отклонения среднего значения выборочной совокупности отличаются от среднего значения нормальной генеральной совокупности, нормированной с помощью оценки дисперсии, то объем выборочной совокупности для заданной относительной ошибки Δ можно определить [28]:

$$n \geq \frac{t_\alpha \cdot \upsilon \cdot 100}{\Delta} \ . \qquad (5.2)$$

Для различных уровней значимости отклонение t_α, нормированное с помощью оценки дисперсии, находится из таблиц [124].

Задаваясь значениями Δ и υ, можно определить требуемый объем выборочной совокупности.

Коэффициент вариации измеряемой величины определяется путем предварительной оценки по выборке, имеющей 20–30 данных [132] или на основании исследований, проведенных в работах [4, 81, 124].

Объем выборочной совокупности определялся при доверительной вероятности β = 0,95 с относительной ошибкой Δ, не превышающей 5%.

При исследовании информационных потоков отказов выполнили: анализ литературных источников, опрос, обсуждение и обмен опытом с экспертами (мастерами, инженерами, учеными).

Используемые на предприятиях бухгалтерские учеты и статистические отчетности из технических паспортов и формуляров оборудования, а так же производственно-финансовые планы и журналы учета затрат на ремонт и техническое обслуживание зерноперерабатывающего оборудования были источником получения статистических данных.

Затем проводили анализ работы по устранению отказов при поломках зерноперерабатывающего оборудования и, используя полученные во второй главе теоретические положения, изучали достоверность полученной информации. Описание внешних признаков технических состояний предусмотрено с применением методов математической логики и теории сложных систем.

На основе результатов наблюдений за диагностированием и ремонтом зерноперерабатывающего оборудования с 2011 по 2012 гг. выявлены отказы.

Таблица 5.1 – Шкала оценки экспертами вероятностей отказов

Вероятность	Пояснения
Менее 0,00005	Отказ практически невероятен
От 0,00005 до 0,0001	Отказ маловероятен, но допускается конструкцией
От 0,0001 до 0,001	Отказ маловероятен, может быть информация о редких случаях его появления
От 0,001 до 0,005	Умеренная вероятность отказа, есть информация о редких случаях его появления
От 0,005 до 0,01	Отказ возможен, лично наблюдался каждым экспертом хотя бы один раз
От 0,01 до 0,05	Вероятность отказа довольно высока, он лично наблюдался всеми экспертами более одного раза
От 0,05 до 0,1	Вероятность отказа высока, он наблюдается практически у

	каждой десятой машины за сезон
От 0,1 до 0,2	Вероятность отказа очень высока, он лично наблюдался каждым из экспертов более десяти раз
От 0,2 до 0,5	Вероятность отказа очень высока, он наблюдается практически у половины машин за сезон
От 0,5 до 1	Отказ наблюдается практически у каждой машины

В ходе исследования получены знания о связях технических состояний зерноперерабатывающего оборудования (объекта наблюдений) с внешними признаками.

Эти связи характеризуются условными вероятностями наличия внешних признаков при условии нахождения объекта наблюдения в соответствующих технических состояниях [143].

В ходе работы с экспертами получены значения вероятностей отказов и условных вероятностей появления внешних признаков при наличии отказов. При оценке вероятностей отказов экспертами использовалась шкала, приведенная в таблице 5.1 [143].

Для получения условных вероятностей наличия внешних признаков при условии наличия отказов применялась шкала, приведенная в таблице 5.2. Полученные экспертами результаты усреднялись, проверялись, корректировались и обрабатывались с применением Microsoft Office Excel [143].

Таблица 5.2 – Шкала оценки условных вероятностей отказов

Вероятность	Пояснения
0	Появление внешнего признака при условии наличия данного отказа невозможно – не допускается конструкцией и принципами работы объекта
От 0 до 0,001	Появление внешнего признака при условии наличия отказа практически невозможно, но допускается конструкцией и принципами работы объекта
От 0,001 до 0,01	Появление внешнего признака при условии появления отказа маловероятно, но такие случаи наблюдались экспертами
От 0,01 до 0,2	Вероятность появления внешнего признака при условии появления отказа умеренная
От 0,2 до 0,4	Вероятность появления внешнего признака при условии появления отказа довольно высока, большинство экспертов многократно наблюдали подобные случаи
От 0,4 до 0,7	Вероятность появления внешнего признака при условии появления отказа высока – каждый второй случай наличия неисправности сопровождается соответствующим внешним признаком
От 0,7 до 0,99	Вероятность появления внешнего признака при условии появления отказа очень высока
1	Появление внешнего признака при появлении отказа достоверно и обусловлено конструкцией и принципами работы объекта

Все наблюдения и испытания проводились в соответствии с ГОСТ 24026-80 [48]. Обработка информационных данных, полученных в результате наблюдений, проводилась по методике дисперсионного анализа [4, 23, 124, 130].

5.3 Методика обоснования и выбора типичного района

При обосновании типичного для Южного региона РФ учитывали несколько факторов. Наиболее значимый из них – производство продукции растениеводства, а именно продовольственной и фуражной пшеницы, ячменя, проса и других культур, так как произведенная сельскохозяйственным предприятием отмеченная выше продукция является сырьем для зерноперерабатывающего предприятия. С точки зрения экономики региона предпочтительным является зернопереработка в непосредственной близости от производства, что создает рабочие места, увеличивает региональный валовой продукт.

Определение параметров типизации объектов исследований является наиболее трудной задачей при обосновании района, так как необходимо учитывать параметры, оказывающие наибольшее влияние на ремонтно-обслуживающую базу для зерноперерабатывающего предприятия.

Факторы, влияющие на параметры типизации, их численные значения по шести районам Ростовской области приведены в таблице «Оценка значимости параметров» (приложение 5).

Для оценки данных, полученных в результате опроса экспертов использовали метод априорного ранжирования. Каждый фактор оценивали по величине ранга, который эксперт присваивал наиболее, по его мнению, значимому фактору (приложение 6).

Результаты опроса экспертов обрабатывались следующим образом: сначала определялась сумма рангов по факторам $\sum_{1}^{m} a_{ij}$, затем разность (Δ_i) между суммой каждого фактора и средней суммой рангов [28]

$$\Delta_i = \sum_{1}^{m_э} a_{ij} - \frac{\sum_{1}^{n}\sum_{1}^{m_э} a_{ij}}{n_ф}, \quad (5.3)$$

где a_{ij} – ранг каждого *i*-го фактора у *j*-го эксперта;

$m_э$ – число экспертов;

$n_ф$ – число факторов.

На следующем этапе определялась сумма квадратов отклонений $S_{откл}$ [28]:

$$S_{откл} = \sum_{1}^{m} (\Delta_i)^2, \quad (5.4)$$

Степень согласованности мнений всех экспертов определялась с помощью коэффициента конкордации ω [93]:

$$\omega = \frac{12S}{m_э^2 \left(n_ф^3 - n_ф\right) - m_э \sum_{1}^{m_э} T_j}, \quad (5.5)$$

где $T_j = \sum \left(t_j^3 - t_j\right)$; t_j – число одинаковых рангов в *j*-ом ранжировании.

Оценка значимости коэффициента конкордации возможна с помощью $\varkappa^2$ – распределения с числом степеней свободы $f = n–1$. Значение χ^2 – критерия определяли по формуле [93]

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1) - \frac{1}{n-1}\sum_1^m T_j} \quad . \tag{5.6}$$

Гипотеза о наличии согласованности мнений исследователей принимали, если при заданном числе степеней свободы табличное значение χ^2 меньше расчетного для 5%-го уровня значимости [93].

На основе полученных данных, построили среднюю диаграмму рангов для рассматриваемых факторов. По характеру диаграммы судили о включении или исключении некоторых факторов в программе исследований.

В результате отбора факторов по каждому из параметров типизации определяли их среднее значение, отклонение от среднего значения и сумму отклонений по каждому району. В качестве района для проведения дальнейших исследований принимали тот, который имел наименьшую сумму отклонений.

5.4 Планирование и методика проведения многофакторного эксперимента

Под планированием эксперимента понимается составление матрицы плана эксперимента, определение необходимого числа данных в каждой точке матрицы плана.

Цель проведения эксперимента заключается в определении оптимального соотношения между затратами на технический сервис зерноперерабатывающего оборудования и ущербом от его простоя.

Задача оптимизации состоит в минимизации затрат на технический сервис зерноперерабатывающего оборудования.

Ввиду многовариантности влияния параметров, изложенных во второй главе, на параметр оптимизации было принято решение о проведении многофакторного эксперимента.

После проведения предварительных поисковых экспериментов были получены уровни варьирования регулируемых факторов с учетом реальных режимов работы при нормальной эксплуатации зерноперерабатывающего оборудования. Они являлись основой для составления матрицы активного планирования многофакторного эксперимента.

Для осуществления многофакторного эксперимента принят трехуровневый план Бокса-Бенкина первого порядка для трех факторов [4, 118]. Он относится к группе почти Д-оптимальных планов, у которых дисперсия воспроизводимости результатов эксперимента равномерно распределена по всем точкам поверхности отклика. Математическая модель первого порядка, полученная на основе таких планов, имеет одинаковую статистическую характеристику по всем направлениям.

В качестве параметра оптимизации (функция отклика) выбрана целевая функция, отражающая минимизацию затрат на технический сервис зерноперерабатывающего оборудования.

Параметр оптимизации обозначим символом $F_{опт}$.

Затраты на технический сервис зерноперерабатывающего оборудования, как параметр оптимизации, отвечает следующим требованиям [124]:

– изменяются при любом изменении (комбинации факторов);

– статистически эффективный параметр, то есть изменяется с наибольшей точностью, что позволяет сократить до минимума повторность опытов.

При определении величин количественных оценок во внимание принимали только те факторы, которые имеют четкий метрологический смысл. Факторы обозначали через символы x_1, x_2 и x_3.

На основании собственных теоретических исследований и анализа исследований процесса работы зерноперерабатывающего оборудования другими авторами [28], приняты следующие факторы: $\alpha = 1/\mu$ – средняя плотность потока заявок; – $j_{опт}$ соотношение стоимости ущерба от простоя зерноперерабатывающего оборудования к стоимости его сервиса; n – количество обслуживающих постов.

Выбранные факторы отвечают следующим требованиям:

– все факторы управляемые, то есть позволяют устанавливать требуемое значение и поддерживать его постоянным в течении опыта;

– для всех факторов выполняются условия совместимости, то есть такие условия, при которых возможно их взаимное влияние;

– все факторы независимые, то есть обладают возможностью их установки на любом уровне независимо от уровней других факторов;

– все факторы однозначны, то есть не являются функцией других;

– все факторы непосредственно воздействуют на параметр оптимизации;

– точность установления граничных значений факторов максимально высокая.

В эксперимент включали три нижеуказанных фактора, для каждого из них устанавливали три уровня: верхний, нижний и основной.

Для выбора интервала варьирования факторов (таблица 5.3) собраны и проанализированы материальные данные отчеты о работе зерноперерабатывающих предприятий. На практике измерить величины трудно, возможно только их постепенное изменение с расчетом эффекта на каждом шагу применения.

Таблица 5.3 – Варьирование факторов в эксперименте

Факторы	Уровни			Размерность
	-1	0	+1	
x_1	0,1	4	8	–

x_2	1	4	8	–
x_3	2	5	8	–

Местом наблюдения выбрано ОАО «Ростовремагропром», расположенный в городе Зернограде Ростовской области. Это предприятие является типичным хозяйством по переработке зерновых культур.

В журнал наблюдений заносились данные об отказах, с указанием узла зерноперерабатывающего оборудования, наработки до отказа, группы сложности и времени устранения.

Кодирование факторов осуществлялось по формуле [124]:

$$x_i = \frac{x_i - x_o}{\Delta x}, \quad (5.7)$$

где x_1 – значение фактора;

x_0 – центр области планирования;

Δx – интервал варьирования.

Вводили условное обозначение верхнего, нижнего и основного уровней вектора соответственно +1, -1 и 0.

Затем строили план матрицы планирования эксперимента в виде таблицы 5.4, в строках которой записывали данные опытов, в столбцах – факторы (в кодах «+» и «–») с реализацией всех возможных сочетаний.

Для получения уравнений регрессии по критериям оптимальности был выбран трехуровневый план первого порядка Бокса-Бенкина.

Таблица 5.4 – План эксперимента

Трехуровневый план первого порядка Бокса-Бенкина			
№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	$x_{3,u}$
1	1	1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	-1	-1	0
5	0	0	0
6	1	0	1
7	-1	0	1
8	1	0	-1
9	-1	0	-1
10	0	0	0
11	0	1	1
12	0	-1	1
13	0	1	-1
14	0	-1	-1
15	0	0	0

5.5 Критерии достоверности и адекватности результатов экспериментальных исследований

Обработку экспериментальных данных вели согласно известной методике [23, 149, 4, 124].

Все точки плана для реализации возможных сочетаний уровней факторов определяли по формуле [43]:

$$n = 3^{n_\phi}, \quad (5.8)$$

где n – общее число различных точек в плане;

3 – число уровней;

n_ϕ – общее число факторов.

После построения плана матрицы планирования проверяли ее свойства:

– симметричность относительно центра эксперимента – алгебраическая сумма элементов столбца каждого фактора должна быть равна нулю, кроме столбца, со свободным коэффициентом b_0 [43]:

$$\sum_{e=1}^{n} i,e = 0, \quad (5.9)$$

где e – номер точки плана;

i – номер фактора;

n – число различных точек плана матрицы.

– нормировку – сумма построчных квадратов каждого столбца равна числу точек плана матрицы [43]:

$$\sum_{e=1}^{n} X_{i,e}^2 = n, \quad (5.10)$$

– ортогональность – сумма построчных произведений планов матрицы любых двух столбцов равна нулю [43]:

$$\sum_{e=1}^{n} X_{i,e} \cdot X_{j,e} = 0, \quad (5.11)$$

где – комбинация факторов в i -ой точке, $i \neq j$.

Построенный план матрицы планирования отвечал вышеуказанным свойствам, следовательно, математическая модель, полученная в результате эксперимента, способна предсказать значение показателя параметра оптимизации с одинаковой точностью в любых направлениях на равных расстояниях от центра эксперимента.

Перед реализацией плана эксперимента производили рандомизирование опытов.

По каждой точке плана матрицы планирования установили действительные значения факторов, верхних, нижних или основных, в порядке реализации опытов первой серии эксперимента. Получали действительные значения показателя параметра оптимизации по всем точкам плана матрицы планирования. Затем значения факторов устанавливали по каждой точке плана матрицы планирования поочередно второй и третьей серии эксперимента.

Среднее значение показателя параметра оптимизации определяли по реализации параллельных наблюдений по формуле [43]

$$Y_e = \frac{\sum_{j=1}^{m_{набл}} Y_{e,j}}{m_{набл}}, \quad (5.12)$$

где Y_e – среднее арифметическое по $m_{набл}$ опытов в точке с номером e;

e – строчка плана матрицы планирования;

– действительное значение показателя параметра оптимизации;

$m_{набл}$ – число параллельных наблюдений в каждой точке.

Для оценки отклонения показателя параметра оптимизации от среднего значения вычисляли дисперсию воспроизводимости по данным $m_{набл}$ параллельных наблюдений плана матрицы планирования в каждой точке по формуле [43]

$$S_e^2 = \frac{\sum_{j=1}^{m_{набл}} \left(Y_{e\text{ср}} - Y_{e,h}\right)^2}{m_{набл} - 1}, \quad (5.13)$$

где S_e^2 – дисперсия в e-ой точке;

– порядковый номер параллельного опыта в данной точке плана матрицы;

– среднее арифметическое значение параметра оптимизации в $m_{набл}$ параллельных опытах в точке e;

– значение параметра оптимизации в h-ой точке;

– число параллельных наблюдений в точках плана матрицы.

Полученные значения суммировали по текущим номерам точек плана матрицы и находили максимальное значение дисперсии.

Коэффициенты регрессии определяли умножением на данные в ходовых обозначениях с последующим делением полученного произведения на общее число точек в плане матрицы, то есть по формуле [43]

$$b_i = \frac{\sum_{e=1}^{N} X_{i,e} \cdot Y_{e\text{ср}}}{\text{N}}, \quad (5.14)$$

где – коэффициенты регрессии 0,1,2,…,k;

– номер столбца в плане матрицы 0,1,2,…,k.

При равном числе параллельных опытов m во всех точках плана матрицы дисперсию ошибки определяли по формуле [43]

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{Y\}}{N \cdot m}, \quad (5.15)$$

где $S^2\{b_i\}$ – дисперсия ошибки определения коэффициентов.

Вычисленные значения $S^2\{b_i\}$ для всех коэффициентов одинаковые.

Далее находили среднеквадратичное отклонение дисперсии ошибки определения коэффициентов регрессии по формуле [43]

$$S\{b_i\} = \sqrt{\frac{S^2\{Y\}}{N \cdot m}}. \quad (5.16)$$

Значимость коэффициентов регрессии определяли по t – критерию Стьюдента. Для каждого коэффициента вычисляли значение t_i – критерия по формуле [43]:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}. \quad (5.17)$$

Затем проверяли гипотезу о значимости коэффициентов регрессии. Для этого задавались уровнем значимости q = 5% и определяли число степеней свободы, находили критическое значение $t_{кр}$. Для коэффициентов, у которых расчетное значение превышает $t_{кр,}$ гипотеза отвергалась, и коэффициент признавался значимым. В противном случае b_i считали статистически не значимым. Далее находили разность между расчетными значениями эксперимента t и $t_{кр}$.

По уравнению регрессии определяли величину $Y_{e,л}$ для каждой точки плана матрицы, то есть для каждой строчки, с учетом знака фактора в плане матрицы находили алгебраическую сумму коэффициентов уравнения. Затем находили разность между средним значением $Y_{e,ср}$ показателя параметра оптимизации процесса для каждой точки матрицы, полученным экспериментально, и значением $Y_{e,л}$, посчитанным по уравнению регрессии. Полученные результаты $(Y_{ecc} - Y_{e,л})$ суммировали $\sum_{\varsigma=1}^{N}(Y_{e\text{ср}} - Y_{e,л})^2$.

Оценку адекватности модели производили по формуле [43]

$$S^2_{\text{ад}} = \frac{m}{N-1}\sum_{\varsigma=1}^{N}(Y_{ecc} - Y_{e,л})^2, \quad (5.18)$$

где $S^2_{\text{ад}}$ – оценка дисперсии адекватности модели;

$Y_{e,л}$ – математическое ожидание параметра оптимизации, подсчитанное

по уравнению регрессии.

Адекватность модели проверяли по следующей формуле [43]

$$F_ф = \frac{S^2_{\text{ад}}}{S^2\{Y\}}, \quad (5.19)$$

где $F_ф$ – критерий Фишера.

Для проверки адекватности модели задавались уровнем значимости q = 5%, определяли число степеней свободы, находили табличные значения критерия Фишера $F_{кр}$ для определенного числа степеней свободы. Гипотезу адекватности модели принимали в том случае, если расчетное значение $F_ф$ оказывалось меньше значения $F_{кр}$ найденного в таблице.

Были приняты следующие границы достоверности и точности: уровень значимости – 0,05 [4]; доверительная вероятность – 0,9 [4]; погрешность опыта – 10% [4].

ГЛАВА 6 ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

6.1 Моделирование отдельных производственных показателей технического сервиса зерноперерабатывающего оборудования

Экономический эффект от внедрения разработок достигается за счет повышения коэффициента технического использования указанного оборудования, достигнутого за счет повышения показателей надежности технологического оборудования.

Для повышения эксплуатационной надежности зерноперерабатывающего оборудования предусмотрено создание стационарного пункта его технического обслуживания и текущего ремонта, состав оборудования приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Предлагаемое технологическое оборудование для технического обслуживания и текущего ремонта зерноперерабатывающего оборудования

Оборудование для технического обслуживания и ремонтов	Марка или модель	Масса, кг	Цена по прайс-листу	Установленная мощность, кВт
Пароводоструйная очистительная установка	ОМ-3360	82	28650	1,5
Компрессорная установка	КИ-4942	–	35450	4
Стенд для проверки электрооборудования	537	66	282000	20
Токарно-винторезный станок	16К20	3005	960000	18,5
Вертикально-сверлильный станок	2Н125	450	141900	1,3
Точильно-шлифовальный станок	3М634	358	59800	4
Наковальня двурогая	11548-65	95	11,986	–
Газосварочное оборудование в комплекте	–	–	16555	–
Электросварочное оборудование в комплекте	–	–	25460	–
Стенд для проверки оборудования	–	88	129000	3,7
Верстак	ОРГ 4968	192	30540	–
Шкаф	ОРГ 4991	–	16060	–
Стенд универсальный разборочно-сборочный	ОПР-647	160	48000	–
Шкаф для зарядки АКБ	ПИМ222П	140	100100	300
Стенд разборочно-сборочный	ОПР-689	176	56100	–
Комплект ручного электроинструмента	–	–	63200	–
Комплект инструмента механика	И-132	–	7300	–
Тележка ручная	Д-1145	–	9500	–
Таль передвижная	ТЭ3-511	–	21720	–
Тиски	П-140	–	5060	–

Верстак	ОРГ-1268	–	15649	–

Технологическое зерноперерабатывающее оборудование предназначено для переработки зерновых культур (таблица 6.2.)

Характеристика подсистемы технического обслуживания зерноперерабатывающего оборудования приведена в таблице 6.3, которая составлена по данным моделирования, конструктивных и технологических расчетов.

Таблица 6.2 – Оборудование для переработки зерна[1]

Наименование	Марка	Цена с НДС (руб.)
Пневмосортировальная машина стационарная	ПСМ-25	380000
Пневмосепаратор с поворотными барьерами стационарный (разделение на 3 фракции)	ПСПБ-25	420000
Пневмосепаратор с поворотными барьерами самопередвижной(разделение на 3 фракции)	ПСПБ-25С	720000
Пневмосортировальная машина стационарная (разделение на 3 фракции)	ПСМ-10М	270000
Пневмосортировальная машина самопередвижная (разделение на 3 фракции)	ПСМ-10МС	450000
Универсальная зерноочистительная машина стационарная	УЗМ-30/15	450000
Барабанный сортировщик стационарный	БС-70	135000
Ленточный желобчатый конвейер	ЛЖК-300	165000
Сушилка зерновая карусельная (без теплогенератора)	СЗК-10Б	900000
Зернопогрузчик самоходный	СЗ-40	155000
Молотилка роликовая	МР-2	40000
Дробилка универсальная	ДУ-3	75000
Конвейер винтовой передвижной(длина 10 метров)	КВП-10	180000
Элеватор шнековый (длина 3,8 метров, диаметр – 120)	ЭШ-12/3800	45000
Нория подъемная круглая для зерна	2-НКЛ-25/13000	305000
Циклон	ЦН-3000	25000
Итого:		**4715000**

Для обеспечения возможности управления надежностью зерноперерабатывающим оборудованием при эксплуатации подсистемы технического обслуживания и текущего ремонта, исследовался вариант модернизированной системы технического обслуживания, для чего может быть закуплено и установлено дополнительное оборудование, созданы посты для выполнения заявок на техническое обслуживание и ремонт зерноперерабатывающего оборудования.

[1]Стоимость оборудования зерноперерабатывающих систем по данным ОАО «Агролизинга»

Расчет общих капиталовложений на приобретение и монтаж оборудования в исходном и проектируемом вариантах определяется по формуле

$$Б^{исх} = \Sigma\, Ц_о\, к, \qquad (6.1)$$

где $Б^{исх}$ – балансовая стоимость рассматриваемой машины, руб.;

$Ц_о$ – отпускная цена машины (по прейскуранту торгующих организаций), руб.;

$к$ – коэффициент, выражающий средние затраты на транспортировку и монтаж, а также торговые наценки, для оборудования, которое не требует монтажа $к$ = 1,1 [16];

n – количество машин принимаем из технологии процесса – одну.

Таблица 6.3 – Сравниваемые варианты управления надежностью зерноперерабатывающего оборудования

Тип	Исходный вариант	Проект	
	ЗПО	ЗПО	СУН на базе ПТО
Мельничное оборудование марки	+	+	
Технологическое оборудование для ТО и ремонта	-	-	+
Инструмент для ТО и ремонта	+	+	+
Компьютерные программы для СУН	-	-	+
Компьютерная и оргтехника	+	+	+
Ангар для ТО и ремонта		-	+
Помещение для ЗПО	+	+	-
Территория предприятия	+	+	+

Балансовую стоимость на вновь проектируемую машину определяли с учетом затрат на модернизацию или по сопоставимой массе:

$$Б^{ПР} = Б^{исх} + М + ТЗР + З_П + ОП + ОХ, \qquad (6.2)$$

где $Б^{ПР}$ – балансовая стоимость машины в проектируемом варианте, руб.;

$М$ – затраты на материалы, руб.;

$ТЗР$ – транспортно-заготовительные расходы, руб.;

$З_П$ – основная и дополнительная зарплата, начисления на фонд заработной платы (фонды);

$ОП$ – общепроизводственные (цеховые) расходы, руб.;

$ОХ$ – общехозяйственные (общезаводские) расходы, руб.

Производительность труда и трудоемкость являются важнейшими показателями, характеризующими экономическую эффективность использования той или иной машины.

Затраты труда на единицу работы рассчитали по формуле

$$T_y = \frac{\sum T}{W_г}, \qquad (6.3)$$

где T_y – трудоемкость технологической операции, чел.-ч/га;

$\sum T$ – суммарные затраты труда рабочих, чел.-ч. за год;

$W_г$ – производительность МТА за год, га.

Производительность МТА за год определяли по формуле

$$W_г = П \sum Д \,, \qquad (6.4)$$

где $П$ – производительность МТА в сутки, га,

$\sum Д$ – количество дней работы машины за год,

Суммарные годовые затраты труда рабочих, обслуживающих МТА

$$\sum T = \sum Д \; T \; Л \; n \,, \qquad (6.5)$$

где $\sum Д$ – количество смен работы машины за год;

n – количество сельскохозяйственных машин, n = 1;

T – сменная продолжительность работы при выполнении производственного процесса, ч.;

$Л$ – количество работников в смену, чел.

Таблица 6.4 – Информационное обеспечение моделей

Наименование показателя	Условное обозначение	Прототип	Проект
Мощность установленная, кВт	N	30,00	42,00
Масса, кг	M	25000	25000
Рыночная цена оборудования, руб.	$Ц_р$	7 900000	9 124 238
Коэффициент перевода $Ц_р$ в балансовую	m	1,2	1,2
Число рабочих дней в году	$Др$	299	299
Продолжительность смены в час	$T_{см}$	7	7
Нерабочий период, рабочих дней	$T_{пр}$	66	66
Коэффициент сменности	$K_{см}$	2	2
Численность *ПП* персонала, чел	$Л$	8	8
Средний разряд по *ЕТС*	$ЕТС$	6	6
Производительность чистая, т/час	$W_{осн}$	0,80	0,80
Элементы сменного времени:			
Технологическое обслуживание, в мин	$T_{тор}$	12	5
ТО и ремонт, в мин	$T_{тех}$	28	11
Организационные простои, в мин	$T_{орг}$	15	5
Отчисления на ТОР оборудования		13	13
Срок службы оборудования	$T_{об}$	8	8
Отчисления на ТО и ремонт	r, %	14,9	14,9
Отчисления на ремонт и ТО зданий	r~, %	1,5	1,5
Стоимость места спецстройчасти, руб.	$Ц_с$	48000	48000
Стоимость места в цехе для оборудования, руб.	$Ц_п$	534000	534000
Амортизация оборудования, %	r, %	10	10

Помимо данных, приведенных в таблице 6.4, потребовались расчетные данные, полученные в результате компьютерной обработки исходных данных, рассчитанные по нижеприведенным формулам.

Производительность труда рабочих, обслуживающих машину на операции в рабочем процессе:

$$П_Т = \frac{W_г}{\sum T}, \quad (6.6)$$

где $П_Т$ – производительность труда, га/чел.-ч;

$W_г$ – производительность машины за год, га;

$\sum T$ – годовые суммарные затраты труда рабочих, обслуживающих МТА, в чел.-ч.

Исходные данные для расчетов приведены в таблице 6.4, а результаты расчета информационного обеспечения – в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Расчетные данные для информационного обеспечения моделей

Нормативная годовая загрузка	$T_н$	4177,00	4177,00
Фактическая годовая загрузка, час	$T_ф$	4186,00	4186,00
Коэффициенты использования смены	–		
Технологический	$K_{технол}$	0,97	0,99
Коэффициент (эксплуатационный)	$K_{ти}$	0,93	0,97
Организационный	$K_{орг}$	0,96	0,99
Коэффициент использования сменного времени	$K_{см}$	0,87	0,95
Производительность за 1 ч времени:	–		
– основного ("чистая")	$W_{осн}$	0,80	0,80
– технологического	$W_{техн}$	0,78	0,79
– эксплуатационного	$W_{экспл}$	0,73	0,77
– сменного	$W_{см}$	0,70	0,76
Объём работ в тоннах исходного сырья:			
– сменный	$B_{см}$	4,90	5,32
– суточный	$B_{сут}$	9,79	10,65
– месячный	$B_м$		
– квартальный	$B_{кв}$		
– годовой	$B_{год}$	2927,81	3183,91
Суммарные затраты труда, чел-ч	$T_{сум}$	33488,00	33488,00
Трудоёмкость (удельные затраты труда)	$З_т$	11,44	10,52
Производительность за 1 ч времени в т.	–	0,70	0,76
Производительность труда в т/чел.-ч	–	0,09	0,10
Годовая выработка в т/чел (за год)	–	365,98	397,99
Производительность труда в руб./чел.-ч	–	1136,57	1235,99
Годовая выработка в руб./чел	–	4162123,06	4526194,00
Рост годовой производительности, %	–	0	8,75

Как следует из (таблицы 6.5), новая система управления надежностью имеет лучшие показатели даже по исходным данным: за счет уменьшения продолжительности простоев по техническим причинам увеличена производительность и снижены затраты. Предлагаемая система управления надежностью способна обеспечить увеличение коэффициента технического

использования K_{mu} до нормативного значения. Рост производительности составляет 8,7% при увеличении объема переработанного зерна. Однако приведенные в таблицах 6.4 и 6.5 показатели производительности, трудоемкости и производительности труда не дают полной экономической характеристики сравниваемых технологий, поэтому далее применяли стоимостные показатели, к которым отнесены прямые производственные затраты или эксплуатационные затраты, а также годовая экономия.

6.2 Экономико-математическая модель технического сервиса мельницы А1-АВМ1

Под экономико-математической моделью понимается аналитическое выражение, отражающее работу системы в виде стоимостных показателей. Такая модель является критерием эффективности системы [16]. Количественно она выражается суммой эксплуатационных затрат. Статьи указанных затрат разделяют на постоянные и переменные. Затраты рассчитываются как сумма всех перечисленных элементов затрат. Нормативно их состав себестоимости определён в Налоговом Кодексе РФ. Затраты, связанные с эксплуатацией средств механизации, называются эксплуатационными. Это сумма слагаемых: отчисления на ремонт, техническое обслуживание, хранение, амортизационные отчисления, прочие, общехозяйственные, общепроизводственные, на ГСМ, и другие эксплуатационные расходы на использование инженерной разработки. В их состав также включают оплату труда с отчислениями во внебюджетные фонды (ВБФ). Все они определяются в общем виде и представляют:

$$Э_{кс} = З + А_{об} + Р_{об} + А_{п} + Р_{п} + С_{т} + Х_{р} + З_{стр} + П_{р} + О_{х} + О_{пр}, \text{ тыс. руб.} \quad (6.7)$$

в т.ч. удельные эксплуатационные затраты:

$$Э_{уд} = Э/В_{г}, \text{ руб./кг}, \quad (6.8)$$

где $З$ – затраты на заработную плату, тыс. руб.;

$А_{об}$, $А_{п}$ – амортизационные издержки по МТА и оборудованию для технического обслуживания и ремонта, тыс. руб.;

$Р_{об}$, $Р_{п}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание МТА, оборудования для хранения в нерабочий период, тыс. руб.;

$С_{т}$ – затраты на ТСМ, тыс. руб.;

$Х_{р}$ – затраты на техническое обслуживание при хранении, тыс. руб.;

$З_{стр}$ – страховые платежи во внебюджетные фонды (34% от оплаты труда), тыс. руб.;

$П_{р}$ – прочие затраты, тыс. руб.;

$О_{х}$ – общехозяйственные расходы, тыс. руб.;

$О_{пр}$ – общепроизводственные расходы, тыс. руб.

Затраты на фактическую зарплату

$$З_{пл} = Д_{к} \cdot Т_{см} \cdot k_{см} \cdot Л \cdot r, \text{ тыс. руб.}, \quad (6.9)$$

где r – тарифная ставка по соцстрахованию (внебюджетные фонды), или по данным предприятия, руб./ч.

К зарплате добавляют соцстрахование (отчисления во внебюджетные фонды – ВБФ), который зависит от выпуска и предприятия, в среднем равен 34%, т.е.

$$З = З_{пл} + З_{пл} \cdot ВБФ.$$

Нормативные затраты на заработную плату будут равны

$$З_{пл} = Т_н \cdot Л \cdot r, \text{ тыс. руб.,} \quad (6.10)$$

где $Т_н$ – нормативная загрузка одного человека;

$Л$ – среднегодовая численность персонала.

Амортизационные отчисления

$$А_{об} = Б_{с\text{-}об} \cdot а \cdot /100, \text{ тыс. руб.,} \quad (6.11)$$

где $Б_{с\text{-}об}$ – балансовая стоимость оборудования, $Б_с = Ц_о \cdot m_2$, тыс. руб.;

$а$ – амортизационные отчисления, %.

Аналогично по зданиям и сооружениям

$$А_п = Б_{с\text{-}п} \cdot а/100, \text{ тыс. руб.} \quad (6.12)$$

Затраты на ремонт

$$Р_{об} = Б_{с\text{-}об} \cdot r/100, \text{ тыс. руб.} \quad (6.13)$$

Затраты на ТСМ

$$С_т = q \cdot Ц_г \cdot В_г, \text{ тыс. руб.,} \quad (6.14)$$

где $Ц_г$ – комплексная цена топлива, равная 25,5 тыс. руб./т.

Прочие эксплуатационные затраты планируются в размере 3–5% от суммы эксплуатационных затрат.

Общий размер эксплуатационных затрат составит

$$И_э = (З + А + Р + С_э) \cdot 0,03/1,05, \text{ тыс. руб.} \quad (6.15)$$

Степень снижения эксплуатационных затрат определяли по формуле

$$С_з = ((И_з^{исх} - И_з^{пр}) / И_з^{исх}) 100\%. \quad (6.16)$$

Расчеты выполнены на компьютере, результаты расчетов состава эксплуатационных затрат приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Статьи эксплуатационных затрат

Статьи затрат	Условное обозначение	Формула расчёта	Значение	
			Аналог	Проект
1	2	3	4	5
Балансовая стоимость оборудования, руб.	$Б_с$	$Ц_р \cdot м$	9480000	10949085
Амортизация: оборудования, руб.	$А$	$Б_с \cdot а,\%$	948000	1094909
спецстройчасти	$А_{об}$	$Ц_с \cdot а, \%$	1600	3200
Амортизация части цеха для оборудования ТОР	$А_п$	$Ц_п \cdot а, \%$	10680	21360
ТО и ремонт: оборудования	$Р$	$Р_{об} \cdot r$	948000	1094909
спецстройчасти	$Р_{об}$	$Р_с \cdot r$	358	7152
части цеха	$Р_п$	$Р_п \cdot r$	4005	8010
Электроэнергия	$Э_г$	–	391746	548445
Пар и т.д.	–	–	29278	31839
Вода и др. ресурсы	–	–	58585	58585

Оплата труда с начислениями	$З$	$Т_ф \cdot t \cdot начисл$	4449120	4449120
Всего затрат, руб.	$Э_г$	–	6841372	7317528
в т.ч. заработная плата	$З_{пл}$	–	3417143	3417143
отчисления в фонды	$З_{есн}$	–	1031977	1031977

Окончание таблицы 6.6

1	2	3	4	5
Сырьё для переработки	$З_м$	$Б_г \cdot нормв$	33296984	36209552
Затраты (без сырья)	*Контроль*	–	6841372	7317528
Прочие затраты, 5%	$П_р$	–	342069	365876
Общепроизводственные расходы, 5%	$О_{пр}$	–	359172	384170
Общехозяйственные расходы, 5%	$О_{хоз}$	–	377131	403379
Эксплуатационные затраты за год, руб.	$Э$	–	7919744	8470954
Экспл. затраты на 1 кг сырья, руб./кг	$С_{уд}$	–	2,705	2,661
Экспл. затраты на 1 к продукции, руб./кг	$С_{уд}$	–	3,607	3,547
Затраты с учетом сырья и материалов	–	–	41216728,02	44680506
Стоимость сырья на 1 кг продукции, руб./кг	–	–	15,164	15,164
Удельная себестоимость продукции, руб./кг	–	–	18,770	18,711
Выручка от реализации за год, руб.	–	–	54896400	59698321
Рост выручки, руб.	–	–		4801921
Полная себестоимость, руб.	–	–	41216728	44680506
Прибыль от реализации, руб.	–	–	13679672	15017815
Рост прибыли в руб.	–	–		1338143
Рост прибыли, %	–	–		9,78
Рентабельность производства, %	–	–	33,19	33,61
Рост рентабельности, %	–	–		0,42
Годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам, руб.	–	–		141,55
Выручка от реализации дополнительной продукции, руб.	–	–		600240
Экономическая эффективность проекта, руб.	–	–		1338285
Всего затрат, руб.	–	–	41216728	44680506

6.3 Анализ показателей эффективности технического сервиса мельницы А1-АВМ1 с учетом временного фактора

Вначале для анализа вычисляли показатели эффективности применения средств обслуживания:

– годовую экономию затрат труда (таблица 6.7)

$$З_{уд} = З_{тб} – З_{тн}, \quad (6.17)$$

где $З_{тб}$ и $З_{тн}$ – соответственно удельные затраты труда в базовом и новом

вариантах, чел-ч;

– удельную экономию затрат труда

$$З_г = З_{ут} / В_г, \text{ чел-ч;} \quad (6.18)$$

Таблица 6.7 – Анализ экономической эффективности проекта

Показатели проекта	Значения по вариантам	
	Аналог	Проект
Трудоёмкость, чел.-ч./т	11,44	10,52
Снижение трудоемкости,%		8,04
Материалоёмкость, кг/т	8,54	7,85
Снижение материалоёмкости, %		8,04
Выручка от реализации продукции, тыс. руб.	54896,40	59698,32
Рост выручки от реализации, тыс. руб.		4801,92
Производительность за 1 ч сменного времени	0,70	0,76
Рост производительности, %		8,75
Капиталовложения, тыс. руб.	7900	9124
Дополнительные капвложения, тыс. руб.		1224
Капиталовложения удельные, руб./т	3237,92	3438,88
Годовой объем переработки зерна, т	2927,81	3183,91
Годовой объем выпуска, млн руб.	54,90	59,70
Рост годового выпуска продукции, млн руб.		4,80
Полная себестоимость продукции, тыс. руб.	41216,73	44680,51
Валовая прибыль, тыс. руб.	13679,67	15017,81
Рост прибыли, тыс. руб.		1338,14
Удельные эксплуатационные затраты, тыс. руб./т	3,61	3,55
Себестоимость производства, тыс. руб./т	18,77	18,71
Экономическая эффективность проекта, тыс. руб.		1338
Срок окупаемости проекта, лет		0,91
Рост рентабельности производства, %		0,42

– степень снижения затрат труда

$$С_т = (З_{тб} – З_{тн}) \cdot 100 / З_{тб}, \%; \quad (6.19)$$

– степень снижения эксплуатационных затрат

$$С_и = (Э_б – Э_н) \cdot 100 / Э_б, \%; \quad (6.20)$$

– годовую экономию эксплуатационных затрат

$$Э_{гэ} = (Э_б – Э_н) \cdot В_г, \text{ тыс. руб.;} \quad (6.21)$$

– дополнительные капвложения

$$\Delta К = К_н – К_б, \text{ тыс. руб.;} \quad (6.22)$$

– удельные капвложения

$$К = К / В_г, \text{ тыс. руб./га;} \quad (6.23)$$

– годовой экономический эффект

$$Э_{гп} = (Э_{уд}^{исх} – Э_{уб}^{нов}) \cdot В_г, \text{ тыс. руб.;} \quad (6.24)$$

– срок окупаемости капвложений

$$Т_п = К_н / Э_{гп}, \text{ лет.} \quad (6.25)$$

После этого определяли финансовые показатели проекта. Для нового проекта вычисляли абсолютную величину балансовой прибыли, норму

рентабельности как отношение прибыли к себестоимости работ по переработке зерна. Полученная норма прибыли должна быть не ниже коэффициента эффективности вложений, равного ставке рефинансирования, увеличенного на коэффициент гарантии получения экономического эффекта плюс доходность альтернативного варианта (банковский депозит – 5,0%) или среднюю доходность по отрасли 5%·1,2+12% = 18% в 2013 году.

Чистая прибыль представляет собой часть балансовой, уменьшенную на сумму не входящих в себестоимость налогов и сборов (*Н*) и стоимость кредита ($К_р$).

Недостатком применявшейся ранее методики в условиях рынка является применение приведённых затрат, а не прибыли.

Проблема в том, что средства на приобретение оборудования тратятся сразу, а доход получается помесячно, поквартально или по годам, то есть частями.

Нынешние деньги, понятно, дороже тех, которые будут. По этой причине рассчитывали стоимость в настоящее время будущих доходов – что называется дисконтированием.

Основные термины западной методики дисконтирования:

PV – дисконтированная стоимость; *Т* – период; *П* – доход через период *Т*; *ДЗ* – цена спроса на товар; *ROR* – норма отдачи инвестиций; *NPV* – чистый дисконтированный доход (ЧДД) или «чистая текущая стоимость»; *NKF* – чистый денежный поток; *Т* – капиталовложения; *ИД* – индекс доходности; *ВНД* – внутренняя норма доходности.

Чистый дисконтированный (другие названия – ЧДД, интегральный эффект, NetPresentValue, NPV) – накопленный дисконтированный эффект за расчетный период. ЧД и ЧДД характеризуют превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного проекта соответственно без учета и с учетом неравноценности эффектов (а также затрат, результатов), относящихся к различным моментам времени.

Дисконтированная стоимость дохода через период *Т* равна

$$PV = \Sigma прибыль\ за\ период\ /\ (1+r)^n, \qquad (6.26)$$

где *r* – процентная ставка, обеспечивающая доход инвестора.

Чем дольше в будущее отстоит период, тем его дисконтированная стоимость ниже.

Для приведения разновременных затрат, результатов и эффектов используют норму дисконта, равную приемлемой для инвесторов норме прибыли на произведённые затраты (эффективность плюс ставка рефинансирования, в 2010 г. она равна 24%).

Инвестор должен вернуть свои деньги с прибылью, с учётом инфляции. Затраты, результаты и эффективность, имеющие место в *Т*-м году внедрения проекта, приводили к базисному путем умножения на коэффициент приведения

$$\alpha_t = 1/(1+E_h)^t, \qquad (6.27)$$

где t – год вложения средств (t = 1, 2,….);

E_h – норма прибыли, E_h = 0,18.

Об эффективности капитальных вложений судили по величине срока окупаемости оборудования.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений:

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_{доп} \cdot E_p}{Э_u^{/}}\right)}{\ln(1 + E_p)}. \qquad (6.28)$$

В результате расчетов установлена высокая экономическая эффективность данного исследования. Дополнительные капитальные затраты составят 1125,3 тыс. руб. Годовая экономия эксплуатационных затрат составит

122 тыс. руб. Новый вариант окупается за расчетный срок менее года ЧДД за срок службы составил почти 5 млн руб.

ГЛАВА 7 ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

7.1 Гибридная система технического сервиса вертикально интегрированных структур

Далее рассмотрели инженерные службы вертикально интегрированных структур - агрохолдингов. Инженерная сфера современных агрохолдингов может быть представлена разнообразными структурами, всё зависит от наличия в холдинге отраслевых направлений – растениеводство, животноводство, переработка сельскохозяйственной продукции и др. В некоторых крупных агрохолдингах РФ вся инженерная сфера структурно входит в Инженерное Управление или Службу, во главе с директором управления. Данные управления или службы являются частью управленческого аппарата всего холдинга. Они имеют свой внутренний бюджет, планируемый в начале года с учётом предстоящих затрат на функционирование и развитие инженерной системы холдинга. Работники инженерного управления агрохолдинга в основном занимаются аналитической работой – это своего рода «белые воротнички» в инженерной сфере села [92].

Анализ инженерных структур в ряде крупнейших агрохолдингов РФ позволяет представить укрупнённую структуру инженерного управления агрохолдинга с возможными элементами в виде схемы рис. 7.1.

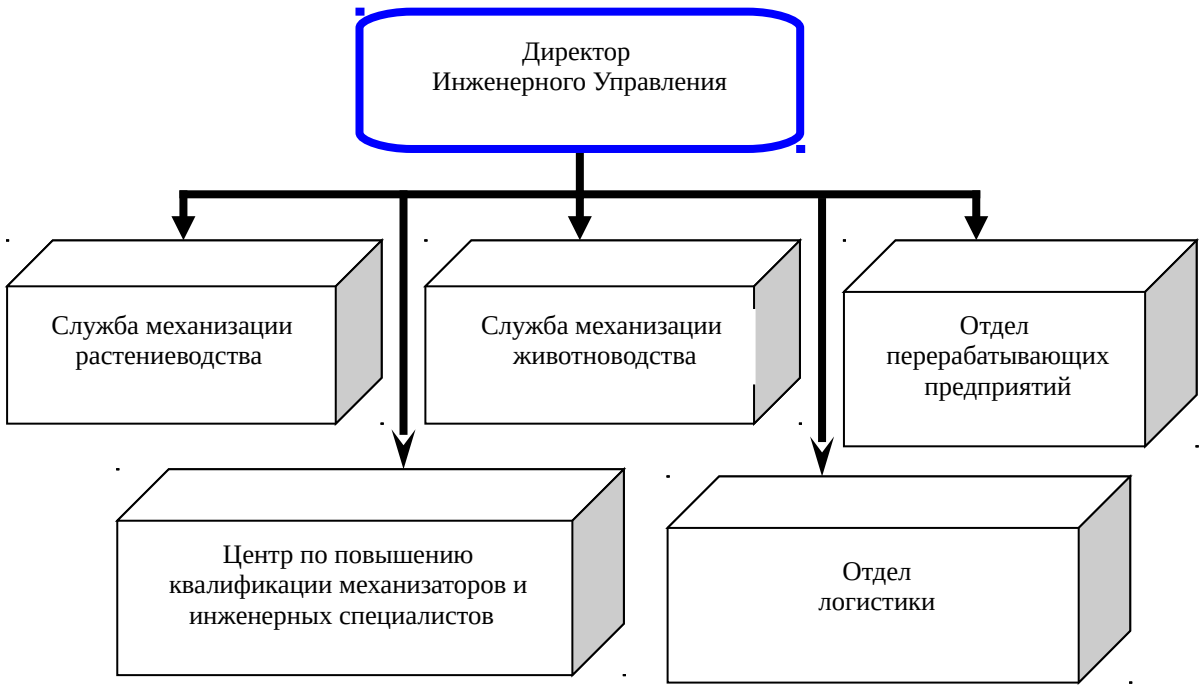


Рисунок 7.1 – Гибридная структура системы ТС вертикально интегрированных структур

Инженерным обеспечением технологий растениеводства в предприятиях холдинга занимаются служба механизации растениеводства, отдел логистики и центр по повышению квалификации работников села.

7.2 Рекомендации по совершенствованию системы технического сервиса

Рассмотрев направления и пути развития системы технического сервиса на основе ресурсов сельскохозяйственной товаропроизводителей, ориентаруясь на работу В М Кряжкова [58], для специализированных логистических организаций и фирм- производителей сельскохозяйственной техники, установили следующее.

Эффективность системы технического сервиса определяется её организацией и управления. В соответствии с системным подходом и теорией организаций, функционирование подсистемы технического сервиса должна быть основана на использовании законов организации и принципов управления, причем как фундаментальных, так и базовых. Основные особенности современного этапа – ориентация на инновационное развитие и импортозамещение, что достигается проведением маневренной инновационной политики, учетом вновь возникших факторов внешней среды, ориентацией на спрос потребителей услуг технического сервиса, ситуационный подход и признание социальной ответственности сельхозтоваропроизводителей.

Рассмотрели исходные предпосылки [59]. Исходные предпосылки (условия) разработки организации управления технического сервиса состоят в том, что они формируются особенностями сельхозяйственной техники.

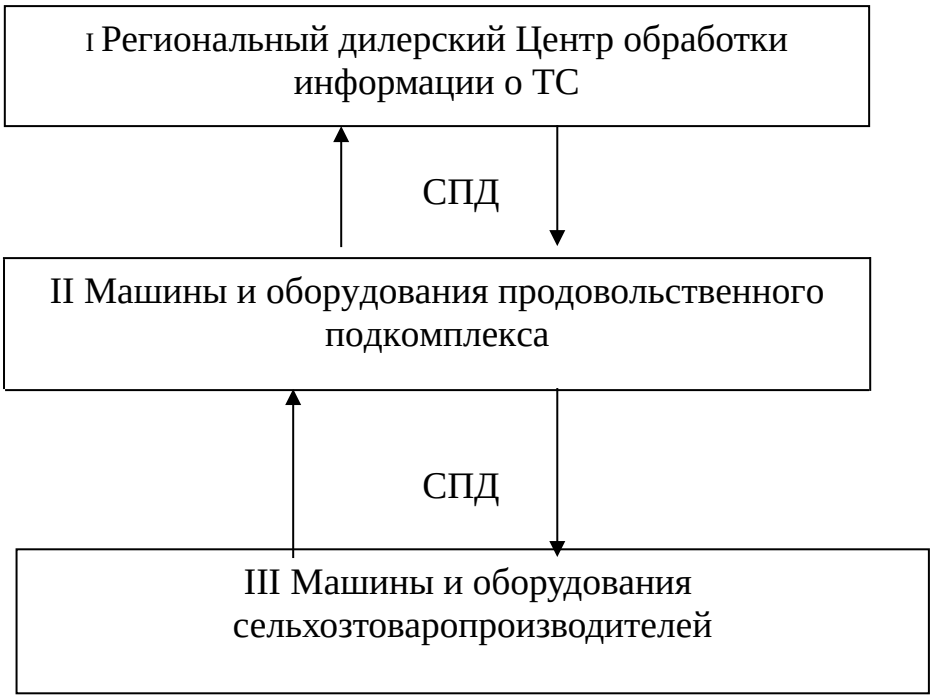
1. Управление должно быть организовано по территориальному признаку ввиду того, что основным средством производства являются с.-х угодья, имеет место рассосредоточенность производства по территории, что усложняет управление и предполагает использование современных средств деловой коммуникации, включая интернет конференц- связь и видеофиксацию.

2. Зависимость от погодно-климатических условий приводит к временным вариациям потока заявок на технический сервис, более подробно сезонность использования техники и нераюочие периоды рпассмотрены в статье [61]. Поток зависит не только от наработки машинно-тракторного парка, но и от физико-механических свойств обрабатываемого материала, и от осадков, влажности, температуры и др. [62].

3. Распределение объектов ТС по территории региона усложняет сбор и обработку управленческой информации, обусловливает создание колл-центров и диспетчерских (информационных) центров по приему и передаче информации по линиям коммутации, ее хранению, обработки и анализу [63].

Наиболее трудоемкими являются операции сбора и первичной информации об отказах техники, оборудования, наработке тракторов и другой самоходной техники для выявления трудозатрат на ТО, ремонт, а

также потребности в запасных деталях, топливосмазочных и технологических жидкостях [66]. Информация обобществляется в журналах, ведомостях, накладных и других первичных документах, оцифровывается и передается по линиям коммуникации [92], (рис. 7.2).



СПД – система передачи данных
I, II, III – уровни иерархии

Рисунок 7.2 - **Циркуляция информации в системе управления ТС**

4. Обслуживаемый МТП и другое технологическое оборудование создают условия для развития живых организмов: растений, животных ,поэтому они адаптируются к конкретным условиям и имеют подсистему приспособлений (адаптеров), которые также необходимо обслуживать.
5. Построение системы управления ТС зависят от формы собственности сельхозтоваропроизводителя и его организационно-правовой формы. (рис. 7.3)
6. Зависимость от погодно-климатических условий приводит к временным вариациям потока заявок на технический сервис. Поток зависит не только от наработки машинно-тракторного парка, но и от физико-механических свойств обрабатываемого материала, и от осадков, влажности, температуры и др.
7. Обслуживаемый МТП и другое технологическое оборудование создают условия для развития живых организмов: растений, животных ,поэтому они адаптируются к конкретным условиям и имеют подсистему приспособлений (адаптеров), которые также необходимо обслуживать.
8. Построение системы управления ТС зависят от формы собственности сельхозтоваропроизводителя и его организационно-правовой формы.

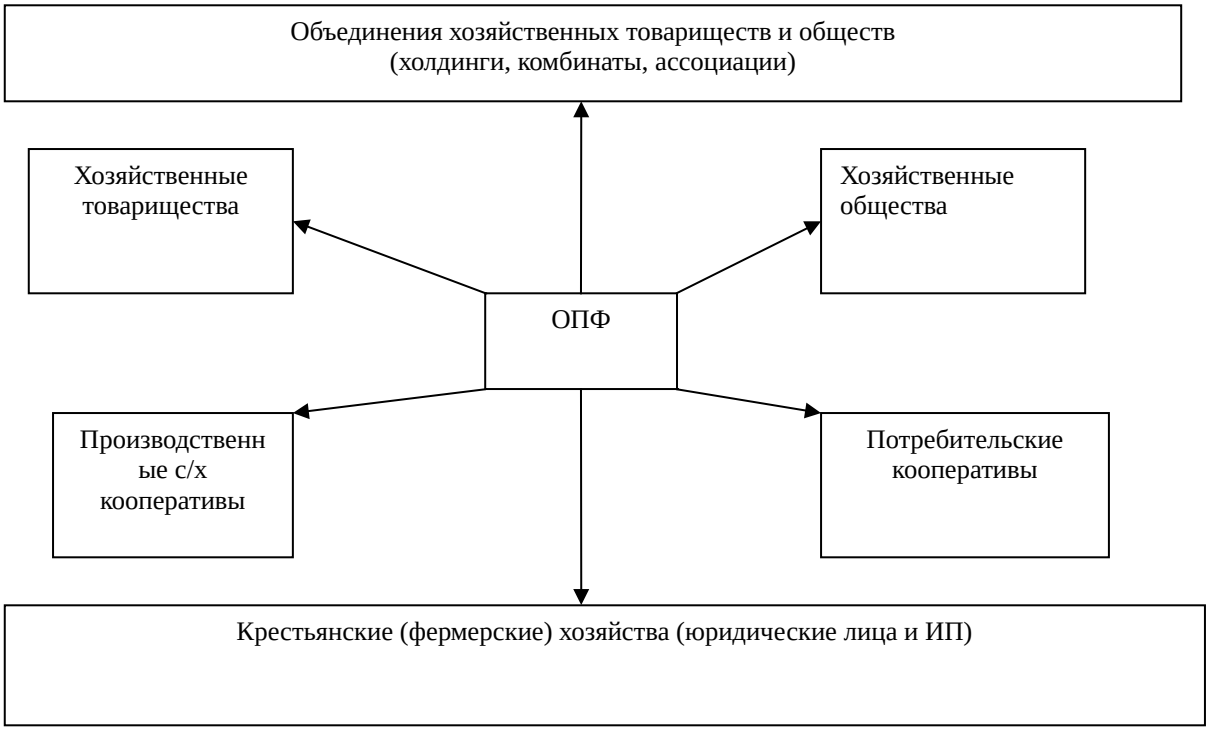


Рисунок 7.3 **– Основные организационно – правовые формы сельхозтоваропроизводителей**

9. Сезонность с/х производства обеспечивает занятость в сезон уходных (за растениями) и уборочных работ, и сокращении потока заявок на ТС в осенне-зимний период, что м.б. компенсировано зимним ремонтом МТП, централизованным восстановлением изношенных деталей в осенне-зимний период, созданием обменного фонда и резервов запасных частей, деталей и узлов, диверсификацией производства предприятий ТС (например, обслуживание сезонных перерабатывающих производств[65]).

Наряду с исходными условиями необходимо использование известных методологических основ, к которым относятся:

- единство и взаимосвязь системы ТС (системность, ситуационность);
- сочетание динамичности воспроизводства при реализации стратегии развития;
- сочетание администрирования, поведенческой и творческой моделей управления;
- композиция функционального, интеграционного и процессного подходов.

Интеграционные процессы в соответствии с закономерностями развития организаций приводят к созданию объединений хозяйственных товариществ и обществ, с/х кооперативов и индивидуальных предпринимателей, к инкорпорации сельхозтоваропроизводителей в государственную систему обеспечения производственной безопасности, как

это уже произошло в США и странах ЕС.

К основным закономерностям управления ТС можно отнести следующее:

- единство системы управления с/х производством и ТС МТП (обеспечивает устойчивость функционирования системы);
- пропорциональность производства и управления с целью достижения синергетического эффекта;
- централизация и децентрализация ТС при обеспечении целостности системы ТС;
- соответствие управляемой и управляющей подсистем факторам: организационным, экономическим, социальным, техническим, потребностям в техническом сервисе МТП и др. оборудования.

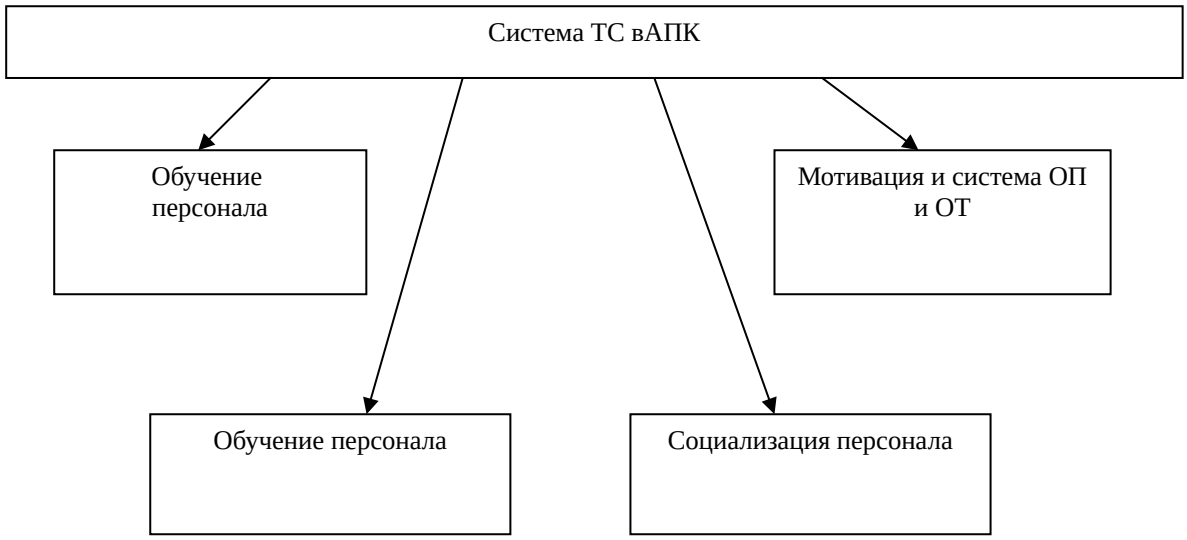
Единство системы ТС обеспечивается посредством системы методов управления, технологическим процессом, функций и принципов управления организационно-правовых форм субъектов управления [68].

К основным принципам управления, которые можно применить к управлению ТС, обычно относят:

- распределение полномочий;
- определение темпов и пропорций ТС во взаимосвязи с потоком заявок на ТО и ремонт;
- экономические и внешнеэкономические методы мотивации персонала;
- использование инновационных технологий;
- -распределение ответственности по отделам, подразделениям, структуризация и иерархия;
- управление персоналом;
- эффективность и ресурсообеспечение;
- сочетание отраслевого и территориального управления (диверсификация, оптимизация, кооперация, концентрация и рациональное размещение производственной базы ТС);
- единство процессов как последовательность количественных и качественных изменений (информатизация, развитие инновационных средств коммуникаций);
- материальная заинтересованность персонала;
- определение доминанты развития (в качестве научной гипотезы прилагается инновационное импортозамещение сельхозтоваропроизводителей в системы отраслевых продовольственных подкомплексов).

При разработке структур управления ТС, инженерных служб в данной работе были использованы принципы управления Ф. Тейлора (рис. 7.4); административного управления А. Файоля (разделение труда, власть и ответственность, дисциплина, единогласие и единство руководства, подчинения частных интересов общим, вознаграждения, централизация, иерархия управления, порядок и справедливость, постоянство состава, инициатива и единение персонала).

Рассматривая организацию технического сервиса в АПК, следует отметить наличие благоприятного фактора – научно-технический потенциал, созданный целой плеядой ученых отраслевой науки и образования – ГОСНИТИ, ВИМ, ВНИПТИМЭСХ, АЧИМЭСХ (АЧИИ) и др., а также наличие квалифицированных инженерных кадров, без которых создание современной системы ТС невозможно.



Управление персоналом

Рисунок 7.4 **– Использование в ТС АПК принципов Ф. Тейлора**

К благоприятным факторам организации и управления ТС в АПК также относится фундаментальность инженерного образования, традиции которого с переходом на Болонскую образовательную систему будут окончательно утрачены, как и опыт государственного регулирования АПК и технологии освоения высоких технологий, который также утрачивается одновременно потерей научного потенциала (как по причине сокращений численности научных сотрудников и финансирования, так и по причине ликвидации и реорганизации научно-исследовательских учреждений, передаче материально-технической базы НИИ в ведение ФАНО; внедрение сомнительных принципов оценки результатов научной деятельности «голосованием» в интернет посредством инструментов «научной электронной библиотеки» .

Отмеченные факторы являются неблагоприятными для создания современной системы ТС в АПК. На наш взгляд, в организации ТС в АПК целесообразно использование некоторых принципов Европейской системы государственного управления:

1 – социальная ориентация государственной экономической стратегии развития сельского хозяйства в странах ЕС;

2 – налоговая система большую часть доходов оставляет в

собственности сельхозтоваропроизводителей, в т.ч. с помощью реформирования регулирования ценообразования, создания системы фермерских рынков, субсидирования с.-х производства, дотирования и проектного финансирования.

Из так называемой «шведской модели» может оказаться полезным поощрением сельского населения посредством создания условий для получения доходов переработки с/х сырья, производства «санкционных» продуктов питания, а также создание инфраструктуры, обеспечивающей уровень жизни населения не ниже, чем в городе, что будет способствовать сохранению инженерно-технического потенциала системы ТС.

Из американской модели управления для целей развития ТС в АПК целесообразно усовершенствовать доставшегося в наследство от СССР систему подготовки и подбора инженерных кадров через сеть университетов и школ бизнеса. Последние в сфере АПК РФ пока отсутствуют напрочь. Полезной будет ориентация на «узких» специалистов в ремонтно-технических услугах: ремонтах машин, оборудования, узлов и агрегатов. «Узкая» специализация как известно, позволяет повысить качество ремонтов ТО за счет применения специализированного оборудования и сокращения затрат на подготовку персонала. Система «узкой» специализации повсеместно используется автомобильными корпорациями в сфере ТС в дилерских сетях, в системе восстановления узлов на заводах корпораций.

Интересно отметить, что в системе «Госпомсельхозтехника» узкая специализация развивалась, но этот опыт практически утерян.

Из Японской системы управления ТС АПК может пригодиться уже забытый нами принцип коллективной ответственности за принимаемые решения, подготовки и обучения кадров без отрыва от производства (бывшие ВТУЗ, но для ТС в АПК). Для села важно привлечение и закрепления инженерно-технических кадров, в этом может помочь японские системы зависимости отплаты труда от возраста, стажа, результатов труда трудового коллектива (в СССР также были доплаты за стаж, коэффициенты трудового участия, льготы для сельских жителей).

На основе изложенного сделаны предложения по совершенствованию развития организации ТС в АПК.

1. Развитие методов и средств управления организаций ТС, ориентируясь на новые подходы, методы управления, мотивацию по опыту стран ЕС, Японии, Швеции, США с учетом отечественного опыта и инженерного потенциала АПК.
2. Создание системы управления инновационными изменениями управления организаций ТС в АПК.
3. Рациональное использование кадрового инженерного потенциала АПК, модернизация имеющейся ремонтно-технической базы и создания экономических и правовых условий восстановления специализированных ремонтных предприятий, основанных как на частном интересе, так и на государственно-частном партнерстве, инкорпорирование мелких частных

предприятий в структуру сельхозмашиностроительных корпораций на договорной основе (франчайзинг, дилерство и др.).

4. Обучение менеджмента предприятий ТС в АПК ориентированным на рыночные механизмы хозяйствования методам адаптивного управления, диверсификации,

5. Диверсификация системы ТС АПК таким образом, чтобы была возможной реализации принципов модификации ремонтно-технической базы и импортозамещения по запасным частям, агрегатам, узлам и в целом по регламентам ТО и ремонтам, что является основным условием эффективности ТС в сложившихся условиях двукратного роста стоимости валюты, необходимой для приобретения импортных комплектующих и материалов. Пропорциональные росту валюте увеличения стоимости ТО и ремонтов снижает экономическую эффективность эксплуатации МТП на 25-30% и соответственно снижает доходы сельхозтоваропроизводителей до отрицательного сальдо.

6. Отмеченные выше особенности сельскохозяйственного производства (а именно: территориальная рассредоточенность, создание условий роста для организмов) повышают актуальность в сравнении с другими отраслями, информатизации и информационных технологий управления, объедененность в технологическую цепочку, обеспечивающей обработку, хранение и перезагрузку информации.

7. Адаптация системы управления организации ТС к сложившийся ситуации, когда продукция АПК по ежегодной выручке конкурирует с ВПК и нефтяным бизнесом по итогам 2015 года. Новое качество организации ТС – в реализации принципов ситуационного управления в условиях: постоянно изменяющейся внешней среде, ускорения разработки и реализации нововведений, волатильности конъюнктуры рынка сельскохозяйственного сырья и ресурсов его производства.

8. Создание условий для налаживания культуры деловых технологий и устранения таких негативных явлений отечественного бизнеса как: излишняя централизация Московскими холдингами за счет вертикальной интеграции, чем подавляется региональная инфраструктура; копирование западных методов организации и управления , не работающих в РФ и приведении к противоправным действиям; зависимость оплаты труда от отношений с руководством, а не от квалификации и результатов работы, конфликт интересов и использования руководством ассиметрической информации, недостаточная компьютеризация, информатизация и технологизация управления.

Рекомендуются к реализации следующие типовые структуры управления и организации системы технического сервиса на внутрихозяйственной, централизованной и гибридной базе инженерно-технической службы (рис. 7.5-7.10)

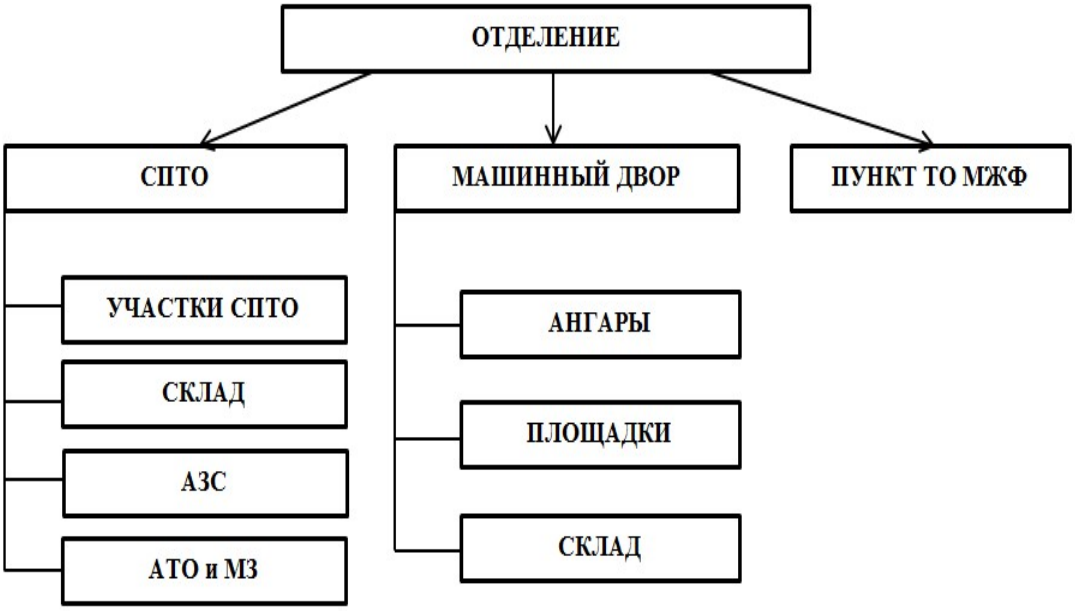


Рисунок 7.5 – Организация технического сервиса производственного подразделения сельхозтоваропроизводителя

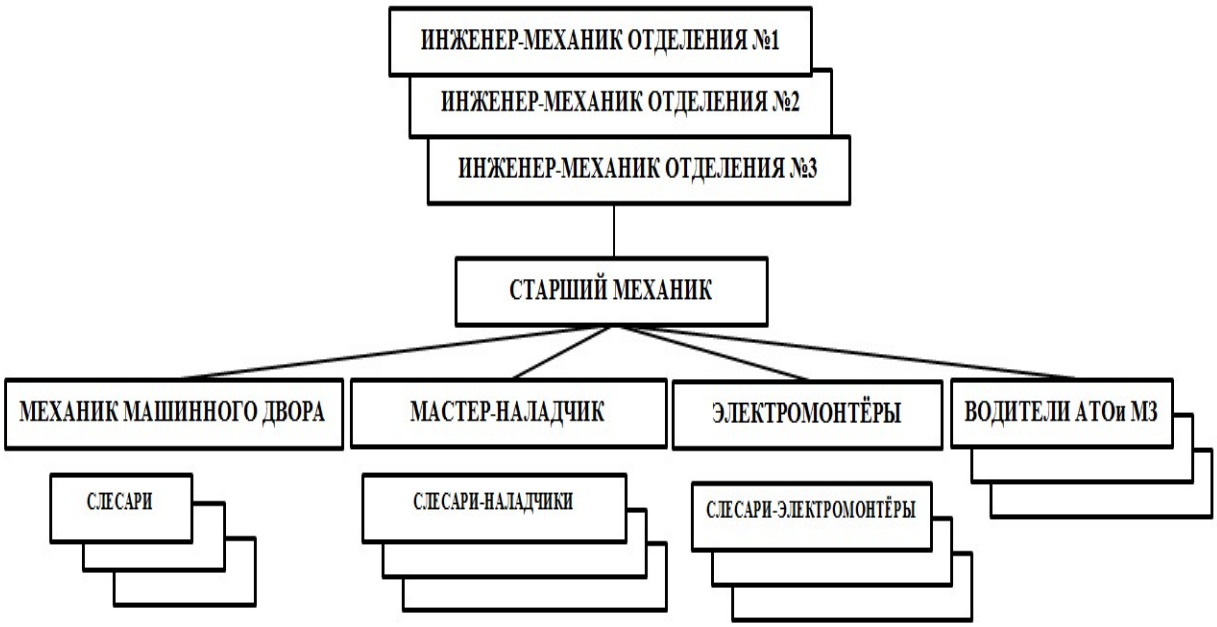


Рисунок 7.6 – Инженерная служба производственного подразделения сельхозпредприятия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально, с вероятностью 0,95 при погрешности менее 5%, подтверждено распределение входящего потока заявок по закону Пуассона. Поток восстановления распределяется по экспоненциальному закону. По опытным данным установлено математическое ожидание количества заявок и обслуживаний за единицу времени (для АСТС – $\lambda = 2{,}8$; $\mu = 6{,}38$; для КСТС – $\lambda_1 = 0{,}64$ и $\lambda_2 = 1{,}02$; $\mu_1 = 7{,}07$ и $\mu_2 = 1{,}6$; для ЦСТС – $\lambda = 2{,}34$; $\mu = 2{,}42$), чем подтверждено выявленное теоретическим путем свойство эргодичности входящего потока, что позволило с достаточной вероятностью ($p = 0{,}95$, $\alpha = 0{,}01$) адекватно описать систему технического сервиса методами теории марковских процессов, разработать математические модели и алгоритмы всех трех видов организации: централизованной, комбинированной и автономной. На алгоритм и программу получено свидетельство о регистрации.

Обоснован типичный район (коэффициент конкордации $\omega = 0{,}79$) и экспериментально при репрезентативной выборке ($\chi^2 = 0{,}95$) установлено существование связей между эффективностью системы зернопереработки и организацией её технического сервиса. Закономерности отказов и восстановлений – Пуассона и экспоненциальный. Выявлены причины отказов, дана их классификация по району и мельнице А1-АВМ: группы сложности 1, 2 и 3 соответственно составили 11%, 44% и 45%, причем внезапные отказы составили 20%, они могут быть сокращены созданием системы управления надежности. В результате статистической обработки опытных данных сформировано информационное обеспечение моделей.

В результате компьютерного моделирования по разработанным моделям установлены закономерности влияния надежности и эффективности функционирования ЗПО для рассматриваемых организаций ТС, зависимости математических ожиданий режимов (p_0, p_k, P_n, $M_{ож}$, $M_{ож\ з}$, $M_{сист}$, $t_{восст}$, $K_{ти}$) от параметров ТС (λ, μ, α, k, j), которые аппроксимированы 23 уравнениями второго порядка с достоверностью $R \geq 0{,}92$.

Основные факторы, влияющие на снижение затрат: соблюдение регламента технического обслуживания, потоки отказов и восстановлений, количество и оснащенность постов сервиса, соотношение стоимостей ущерба от простоев оборудования и нормо-часа сервиса; исследована безотказность, коэффициент технического использования $K_{ти}$ и готовности $K_г$ во взаимосвязи с эффективностью. Эксплуатационная надежность значимо влияет на производительность переработки, при её снижении в 2,94 раза она падает в 12 раз. $K_{ти}$ и простой постов изменяются разнонаправлено по параболе, поэтому целевые функции имеют оптимум. Выявлено, что комбинированная система более эффективна, чем централизованная и автономная, имеет более высокое значение $K_{ти} = 0{,}94$ (соответственно выше, чем у централизованной на 32%, и на 31% выше, чем у автономной) и низкую операционную себестоимость, она снижена с 18,71 до 15,32 руб./кг только за счет изменения организации.

Исследование системы управления надежностью выполнено методом многофакторного эксперимента. Установлены области значений функции отклика и наличие оптимума. Минимальное значение функции отклика соответствует значение x_1 = 7…8 (плотность входящего потока), x_2 = 4…5 (количество постов обслуживания) и x_3 = 4…5 (соотношение стоимостей простоя зерноперерабатывающего оборудования и стоимости нормо-часа обслуживания). При случае среднего потока 7–8 отказов в день, рекомендуется использовать для их устранения 4–5 постов, при этом сумма затрат на их технический сервис, обслуживание и ущерб от простоев постов и мельницы будет составлять около 4000 руб./в смену. Следовательно, данная методика управления надежностью может быть использована для управления надежностью и включена как компонент системы управления надежностью, введенной ГОСТ Р 27.001-2009. Так как простои зерноперерабатывающего оборудования в 4 раза ниже, чем простои постов обслуживания, рекомендуется догружать подсистему сервиса коммерческими заявками.

Разработаны предложения по системе управления надежностью (она может уменьшить внезапные отказы до 20%) и рекомендации по организации технического сервиса и повышении его эффективности. Установлена высокая экономическая эффективность предложенного варианта организации технического сервиса: рост производительности 8,75% и прибыли на 1,33 млн руб., рост рентабельности производства на 0,42%. Годовая экономия эксплуатационных затрат составит 122 тыс. руб. Разработка окупается менее года и рекомендуется к использованию.

Рассматриваемая монография раскрывает существенные отличия современной инженерной сферы отрасли растениеводства от её аналогов прошлых лет. Данные отличия сказываются в перечне решаемых инженерных задач, организационно-правовых аспектах, степени оснащённости средствами технического сервиса и оргтехническими средствами для планирования производства и поддержки принимаемых решений.

Исследованы вопросы инженерно-технического обеспечения крупных схем эксплуатации машин и оборудования времён плановой экономики, которые позволяли добиваться высоких показателей работы и надёжности машин в полеводстве и наименьших эксплуатационных затрат на единицу продукции. Данный отечественный опыт формирования инженерных структур АПК и их материальной базы является уникальным по масштабам производства и степени интеграции сельхозтоваропроизводителей с предприятиями технического сервиса. Этот опыт, несомненно, актуален на фоне сегодняшних процессов деградации инженерных коммуникаций всех уровней, продолжающегося разукрупнения растениеводческих хозяйств, для которых характерен критически низкий уровень технического оснащения.

Представленный в монографии анализ методов синтеза и математических моделей ИТС показывает их непригодность для современного производства. Появление новых инженерных задач, развитие

фирменного сервиса и информационных технологий управления диктуют необходимость разработки новых методологических подходов к моделированию ИТС.

Предложенная инженерная служба предприятия позволяет учесть широкий перечень современных инженерных задач и открытость ИТС для потоков внешней информации. Описанный механизм структурообразования даёт рациональное объяснение структурно-функциональным преобразованиям в системе управления производством и раскрывает условия их возникновения.

Моделирование инженерной службы является многокритериальной задачей. Выделены группы критериев оптимизации ИТС, одними из которых являются показатели надёжности технологических систем растениеводства. В работе впервые предложено рассматривать основное предназначение ИТС хозяйства – управление надёжностью технологических систем предприятия. Главный аргумент такого предложения в том, что эффективность функционирования и надёжность ТС растениеводства определяют себестоимость продукции.

Результаты данных исследований и разработанные программные продукты могут быть использованы при модернизации системы инженерно-технического обеспечения растениеводческих предприятий, формировании информационных коммуникаций ИТС, а также оснащении рабочих мест для специалистов инженерных служб.

Управление эффективностью и качеством производственной деятельности является частью технической политики ПТБ и управления процессами ТЭ, имеющее целью создание условий, отвечающих требованиям к качеству труда и его эффективности, и выполнение указанных требований.

Предложения. В типовом случае в целях постоянного обеспечения эффективности и качества системы организации ТС руководящий состав предприятия должен:

– анализировать и совершенствовать управление производством;

– внедрять прогрессивные методы организации и стимулирования труда, обеспечивать равномерность и ритмичность трудового процесса;

– совершенствовать организацию и технологию ТС и его материально-техническое обеспечение;

– улучшать систему контроля ТО и оценки качества труда;

– повышать квалификацию специалистов;

– формировать в коллективах обстановку высокой ответственности за порученное дело, соблюдение трудовой, производственной и технологической дисциплины;

– обеспечивать четкое определение должностных обязанностей подчиненных, руководителей и специалистов, сфер их ответственности в общем процессе трудовой деятельности.

Управление эффективностью и качеством осуществляют на основе инструктивных и методических документов предприятия, разрабатываемых с

учетом требований законодательства, условий предприятия и существующих рекомендаций по данному вопросу.

Необходимой составляющей управления эффективностью и качеством ТО являются учет и оценка его результатов и их прямая связь с конкретным стимулированием трудовой деятельности. Учет и оценка указанных результатов, ее использование осуществляются в порядке, определяемом документами предприятия, и в рамках действующего законодательства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев, М.В. Технология ремонта машин и оборудования / М.В. Авдеев, Е.Л. Воловик, К.Е. Ульман. – Москва: Высшая школа, 1991. – 319 с.

2. Авдонькин, Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: учебное пособие для ВУЗов / Ф.Н. Авдонькин. – Москва: Транспорт, 1985. – 215 с.

3. Агафонов, Н.И. Исследование и обоснование некоторых вопросов производственной эксплуатации стационарных предприятий технического обслуживания: автореферат диссертации кандидата технических наук / Н.И. Агафонов; Волгоградский сельскохозяйственный институт. – Волгоград, 1972. – 26 с.

4. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. – Москва: Металлургия, 1968. – 155 с.

5. Анцев, А.В. Управление качеством технического обслуживания, ремонта и модернизации технологического оборудования на основе проектного подхода: автореферат диссертаций кандидата технических наук / А.В. Анцев. – Тула, 2010. – 19 с.

6. Артемьев, Ю.Н. Основы надежности сельскохозяйственной техники / Ю.Н. Артемьев. – Москва: МИИСП, 1973. – 162 с.

7. Афанасьев, Б.Р. Совершенствование технического обслуживания машинно-тракторного парка колхозов и совхозов с участием райсельхозтехники (на примере хозяйства Псковской области): автореферат диссертаций кандидата технических наук / Б.Р. Афанасьев; Ленинградский сельскохозяйственный институт. – Пушкин; Ленинград, 1984. – 15 с.

8. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен: перевод с англ. – Москва: Радио и связь, 1988. – 392 с.

9. Барлоу, Р. Математическая теория надежности / Р. Барлоу, Ф. Прошан: перевод с англ.; под редакцией Б.В. Гнеденко. – Москва: Советское Радио, 1969. – 488 с.

10. Барлоу, Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – Москва: Наука, 1984. – 234 с.

11. Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования перерабатывающих отраслей АПК: справочник / А.Н. Батищев, Т.В. Чижикова, И.Г. Голубев, И.А. Спицын, В.М. Юдин. – Москва: Информагротех, 1997. – 284 с.

12. Берг, А.И. Кибернетика – наука об оптимальном управлении / А.И. Берг. – Москва, Ленинград: Энергия, 1964. – 64 с.

13. Бурков, В.Н. Механизмы функционирования организационных систем / В.Н. Бурков, В.В. Кондратьев. – Москва: Наука, 1981. – 383 с.

14. Бусленко, Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. – Москва: Советское радио, 1973. – 440 с.

15. Валуев, Н.В. Математическое моделирование надежности и эффективности функционирования технологических систем в АПК / Н.В. Валуев, В.Н. Курочкин. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2004. – 160 с.

16. Валуев, Н.В. Экономический анализ эффективности технологического оборудования для технического сервиса в АПК: учебное пособие
/ Н.В. Валуев, В.Н. Курочкин, А.Ф. Жолобов. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – 130 с.

17. Веденяпин, Г.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Г.В. Веденяпин, Ю.К. Киртбая, М.П. Сергеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Колос, 1966. – 343 с.

18. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – Москва: Наука, 1973. – 366 с.

19. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – Москва: Наука, 1969. – 576 с.

20. Галимзянов, И.В. Организационно-методическое обеспечение эффективности функционирования системы технического обслуживания оборудования приборостроительных предприятий: диссертация кандидата экономических наук / И.В. Галимзянов. – Уфа, 2004. – 146 с.

21. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – Москва: Машиностроение, 1985. – 424 с.

22. Глацын, А.Ю. Моделирование эффективного технического обслуживания в агропромышленном комплексе региона: диссертация кандидата экономических наук / А.Ю. Глацын. – Ижевск, 2010. – 179 с.

23. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 1977. – 479 с.

24. Гнеденко, Б.В. Беседы о теории массового обслуживания / Б.В. Гнеденко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Книжный дом «Либроком», 2010. – 72 с.

25. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, В.И. Коваленко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Комкнига, 2005. – 400 с.

26. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – Москва: Наука, 1966. – 431 с.

27. Гречко М.В., Курочкин В.Н. Самоорганизация социально-экономических систем: концептуальные основы, аксиоматика. – Национальные интересы: приоритеты и безопасность// научно-практический и теоретический журнал. –. 2015. № 32. – С. 36-45.

28. Горетый, А.В. Обоснование параметров функционирования мобильных звеньев при техническом обслуживании и ремонта зерноперерабатывающих машин и оборудования (на примере АПК Зерноградского района): диссертация кандидата технических наук / А.В. Горетый. – Зерноград, 2006. – 169 с.

29. ГОСТ 27.001-2009 «Системы управления надежностью». – Москва: Стандартинформ, 2009. – 35 с. – Электронный ресурс. – Сайт:

2i.tusur.ru. – Режим доступа: http://2i.tusur.ru/media/files/GOST_R_ISO_27/001-2009.pdf.

30. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207–76. – Введ. 1977-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 8 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/232-GOST_8_207_76.html.

31. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний: ГОСТ 20522-96. – 1997. – Введ. 01-01-1997. – Взамен ГОСТ 20522-75. – Москва: Издательство стандартов, 1997. – 23 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/14354-GOST_20522_96.html

32. Гуревич, А.И. Мукомольно-крупяная промышленность: состояние, проблемы, пути развития.../ А.И. Гуревич // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2010. – № 11. – С. 3–7.

33. Гуторович, М.С. Вопросы специализации ремонтного производства в сельском хозяйстве: автореферат диссертации кандидата технических наук / М.С. Гуторович; Ленинградский сельскохозяйственный институт. – Ленинград, 1964. – 19 с.

34. Димитров, В.П. Об организации технического обслуживания машин с использованием экспертных систем / В.П. Димитров // Вестник Донского государственного технического университета. – 2003. – Т. 3; № 1 (15). – С. 33–44.

35. Димитров, В.П. Теоретические и прикладные аспекты разработки экспертных систем для технического обслуживания машин / В.П. Димитров, Л.В. Борисова. – Ростов на Дону: Издательский центр Донского государственного технического университета, 2007. – 202 с.

36. Долгушкин, Н.К. Зерновая проблема и пути ее решения / Н.К. Долгушкин // Сельский механизатор. – 2011. – № 11. – С. 2–3.

37. Дубров, А.М. Последовательный анализ в статистической обработке информации / А.М. Дубров. – Москва: Статистика, 1976. – 160 с.

38. Стратегия развития системы машин для крестьянских хозяйств на период до 2020 года / В.П. Елизаров, Н.М. Антышев, В.М. Бейлис // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – №1. – С. 3–5.

39. Ершов, К.В. Структура обслуживания и ремонта современного технологического оборудования машиностроительного предприятия на базе критерия ресурса времени работоспособности: диссертация кандидата технических наук / К.В. Ершов. – Казань, 2006. – 180 с.

40. Жевора, Ю.И. Оптимизация производственной инфраструктуры технического сервиса в АПК региона / Ю.И. Жевора // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 7. – С. 14–16.

41. Жуленков, В.И. Развитие технического сервиса машин в АПК / В.И. Жуленков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 6. – С. 23–24.

42. Закон Российской федерации «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184 – ФЗ, принят Государственной Думой 15.12.2002 г. Одобрен Советом Федерации 18.12.2002 г., (в последней редакции ФЗ от 03.12.2012 № 236 – ФЗ): электронный ресурс. – Сайт: www.consultant.ru. Режим доступа: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req = doc;base = LAW;n = 133315.

43. Захарин, А.В. Повышение эффективности работы вакуумных насосов пластинчатого типа модернизацией конструкции при ремонте: диссертация кандидата технических наук / А.В. Захарин. – Зерноград, 2012. – 182 с.

44. Зверев, Г.Я. Оценка надежности изделия в процессе эксплуатации / Г.Я. Зверев. – Москва: КомКнига, 2006. – 96 с.

45. Зорин, В.А. Основы работоспособности технических систем / В.А. Зорин. – Москва: Академия, 2009. – 203 с.

46. Игнатьев, Л.М. Организация регионального технического сервиса сельскохозяйственной техники / Л.М. Игнатьев, Э.Ф. Абдразаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 9. – С. 2–4.

47. Иофинов, С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / С.А. Иофинов, Г.П. Лышко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Колос, 1984. – 351 с.

48. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения: ГОСТ 24026-80 – Введ. 01-01-1981. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 18 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/19547-GOST_240026_80.html

49. Капустин, В.П. Технологическое обслуживание сельскохозяйственных машин и агрегатов / В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 1. – С. 26–28.

50. Карпов, В.И. Основы динамической надежности машины / В.И. Карпов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1999. – № 5. – С. 20–22.

51. Клейнер, Б.С. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Организация и управление / Б.С. Клейнер, В.В. Тарасов. – Москва: Транспорт, 1986. – 236 с.

52. Кокс, Д.Р. Теория восстановления / Д.Р. Кокс, У.Л. Смит: перевод с английского по ред. Ю.К. Беляева. – Москва: Советское радио, 1967. – 300 с.

53. Комаров, В.А. Повышение безотказности и долговечности перерабатывающего оборудования / В.А. Комаров, Н.И. Одуева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 3. – С. 25–27.

54. Комаров, В.А. Прогнозирование долговечности узлов ремонтно-технологического оборудования предприятий АПК / В.А. Комаров, П.П.

Лезин, А.В. Григорьев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – № 9. – С. 46–48.

55. Конкин, Ю.А. Экономика ремонта сельскохозяйственной техники / Ю.А. Конкин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 336 с.

56. Теория вероятностей и математическая статистика / Е.С. Кочетков, С.О. Смерчинская, В.В. Соколов. – Москва: ФОРУМ: ИНФА-М, 2006. – 240 с.

57. Краснощеков, Н.В. Оценка эксплуатации машин и оборудования в отраслях сельского хозяйства / Н.В. Краснощеков, А.В. Малышев // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 2. – С. 34–38.

58. Кряжков, В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники / В.М. Кряжков. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 335 с.

59. Курочкин, В.Н. Анализ эффективности организации использования машинно-тракторного парка и концепция развития инженерной инфраструктуры: монография / В.Н. Курочкин; Министерство сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГОУ ВПО АЧГАА. – Зерноград, 2004. – 134 с.

60. Курочкин, В.Н. Математическая модель централизованной и комбинированной системы организации технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия / В.Н. Курочкин, Ж.В. Матвейкина, Е.Н. Кущева
// Техника и оборудование для села. – 2012. – № 5 (179). – С. 36–39.

61. Курочкин, В.Н. Моделирование организации хранения сельскохозяйственной техники / В.Н. Курочкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1980. – № 7. – С. 42–43.

62. Курочкин, В.Н. Надежность и эффективность функционирования технологических систем в АПК: математическое моделирование / В.Н. Курочкин, Н.В. Валуев. – Ростов-на-Дону: Терра, 2004. – 160 с.

63. Курочкин, В.Н. Научно-методические основы обеспечения эффективности и надежности систем эксплуатации машин и оборудования в АПК: монография / В.Н. Курочкин. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Ростиздат», 2010. – 468 с.

64. Курочкин, В.Н. Проблемы обеспечения надежности и эффективности функционирования технологических систем эксплуатации машин и оборудования: монография / В.Н. Курочкин. – Москва: ВИМ, 1993. – Ч. 1. – 167 с.

65. Курочкин, В.Н. Теоретические аспекты восстановления работоспособности зерноперерабатывающей системы / В.Н. Курочкин, Е.Н. Кущева
// Международный технико-экономический журнал. – 2012. – № 2. – С. 71–75.

66. Курочкин, В.Н. Теоретические аспекты исследования процесса возникновения отказов зерноперерабатывающего оборудования / В.Н. Курочкин, Е.Н. Кущева // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 4 (178). – С. 35–37.

67. Курочкин, В.Н. Устойчивость функционирования, надежность и энтропия систем эксплуатации машин и оборудования / В.Н. Курочкин //

Технологии и средства механизации полеводства. – Зерноград: РИО АЧГАА, 2002. – С. 45–53.

68. Курочкин, В.Н. Эффективность и надежность функционирования сложных организационных систем: монография / В.Н. Курочкин. – Ростов-на-Дону, ЗАО «Ростиздат», 2010. – 494 с.

69. Курочкин, В.Н. Эффективность и надежность функционирования технологических систем эксплуатации машинно-тракторного парка: диссертация доктора технических наук / В.Н. Курочкин. – Зерноград, 2011. – 540 с.

70. Курочкин В.Н. Проявление закономерностей действия организации производства в отраслях / / Актуальные проблемы экономики и учета в отраслях АПК: межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск 13. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 275 с.

71. Курочкин В.Н., Кущева Е.Н. Теорема Мура-Шеннона и управление надежностью зерноперерабатывающих предприятий. – Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов, 2012, №9. – С.88-90.

72. Лачуга, Ю.Ф. О научном обеспечении инженерно-технической системы в АПК / Ю.Ф. Лачуга // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 3. – С. 3–10.

73. Левитский, И.С. Организация ремонта и проектирования сельскохозяйственных ремонтных предприятий / И.С. Левитский. – Москва: Колос, 1977. – 482 с.

74. Лернер, М.И. Исследование и оптимизация процесса устранения неисправностей машин сельскохозяйственного назначения методом статистического моделирования (на примере конкретных хозяйств): автореферат диссертаций кандидата технических наук / М.И. Лернер; ЦНИИ механизации и электрификации сельского хозяйства нечерноземной зоны СССР (ЦНИИМЭСХ). – Минск, 1969. – 35 с.

75. Липкович, Э.И. и др. Проведение научных исследований по организации и информатизации системы технического сервиса в условиях модернизации АПК / Э.И. Липкович, В.Н. Курочкин, Е.Н. Кущева, С.Л. Никитченко и др. // Отчет о НИР по тематическому плану-заданию утверждённому на Учёном совете ФГБОУ ВПО АЧИИ Донского ГАУ. – Зерноград: АЧИИ Донского ГАУ, 2014.

76. Лукин, А. И. Системы массового обслуживания / А.И. Лукин. – Москва: МО СССР, 1980. – 189 с.

77. Лурье, А.Б. Построение моделей сельскохозяйственных агрегатов как вероятностных систем / А.Б. Лурье // Системный анализ в разработке механизированных сельскохозяйственных технологий. – 1984. – С. 37–45.

78. Макаров, А.В. Математические методы определения размещения предприятий технического сервиса / А.В. Макаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 1. – С. 18–21.

79. Мальцев, Ю.В. Разработка рациональной структуры ремонтно-обслуживающей базы и повышение надежности мобильной сельскохозяйственной техники в условиях РАПО (на примере Пермской

области): автореферат диссертации кандидата технических наук / Ю.В. Мальцев; СибИМЭ. – Новосибирск, 1986. – 17 с.

80. Матвеев, В.Ф. Системы массового обслуживания / В.Ф. Матвеев, В.Г. Ушаков. – Москва: МГУ, 1984. – 240 с.

81. Мельник, М. Основы прикладной статистики / М. Мелник: перевод с англ. / М. Мельник. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 414 с.

82. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов: ГОСТ Р 51901.12 – 2007 (МЭК 608.12: 2006). – Введ. 2008-09-01. – Москва: Стандартинформ, 2004. – 35 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/27501-GOST__R_51901_12_2007.html.

83. Михлин, В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. – Москва: Колос, 1984. – 335 с.

84. Надежность в технике. Модели отказов: ГОСТ Р 27.004 – 2009. – Введ. 2010-09-01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 16 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.norm-load.ru. – Режим доступа: http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/58/58960/index.htm

85. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002. – 89. – Введ. 01-07-90 – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 32 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/1439-GOST_27_002_89.html.

86. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы: ГОСТ Р 27.403 – 2009. – Введ. 2010-09-01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 12 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.norm-load.ru – Режим доступа: http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/58/58961/index.htm

87. Надежность в технике. Планы испытаний для онтроля коэффициента готовности: ГОСТ Р 27.404 – 2009. – Введ. 2010-09-01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 20 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.библиотека-норм.рф. – Режим доступа: http://www.библиотека-норм.рф/doc/58-58963.htm

88. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения: ГОСТ Р.27.001. – 2009. – Введ. 2010-09-01 – Москва: Стандартинформ, 2010. – 10 с. – Электронный ресурс. – Режим доступа: www.gost-load.ru/Index/49/49135.htm.

89. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения: ГОСТ 27.004 – 85. – Введ. 1986-07-01. – Взамен ГОСТ 22954 – 78 – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 60 с. - Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/1441–GOST_27_004_85.html.

90. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. Т. 2: Математические методы в теории надежности и эффективности / под ред. Б.В. Гнеденко. – Москва: Машиностроение, 1986. – 224 с.

91. Нейман, Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонентов / Дж. Нейман // Сборник научных статей

«Автоматы» под ред. А.А. Ляпунова. – Москва: Иностранная литература, 1956. – С. 68–139.

92. Никитченко, С.Л. Инженерное обеспечение растениеводства: монография / С.Л. Никитченко. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2011. – 267 с.

93. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – Москва: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

94. Новиков, О.А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О.А. Новиков, С.И. Петухов. – Москва: Сов. Радио, 1969. – 399 с.

95. Павлов, Б.В. Проблемы проектирования механизации сельскохозяйственных предприятий / Б.В. Павлов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 5. – С. 6–10.

96. Пастухов, А.Г. Экспертная оценка работоспособности сельскохозяйственной техники / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 4. – С. 25–27.

97. Певзнер, Я.Д. Организация ремонта машин в сельском хозяйстве / Я.Д. Певзнер. – 4-е изд. перераб. и доп. – Москва: Колос, 1970. – 440 с.

98. Пиурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Пиурман. – Москва: Высшая школа, 1977. – 479 с.

99. Плаксин, А.М. Управление уровнем безотказности сельскохозяйственных тракторов на основе оценки издержек на изготовление, обслуживание и ремонт / А.М. Плаксин, А.А. Гуляренко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – № 4. – С. 52–55.

100. Полуян, В.А. Зерноперерабатывающий комплекс: необходим технический сервис / В.А. Полуян, Е.Н. Кущева // Сельский механизатор. – 2011. – № 9. – С. 4–5.

101. Правительство РФ. Постановление от 11 апреля 2001 г. № 290 «Об утверждении правил оказания услуг (выполнение работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств.

102. Приказ Федеральной авиационной службы Российской Федерации от 30.12.1997 №287 «Об утверждении «Порядка сертификации организаций по техническому обслуживанию авиационной техники» ССВТ – ТО (зарегистрировано в Минюсте РФ 10.03.98 №1483): электронный ресурс. – Сайт: www.consultant.ru. Режим доступа: http://base.consultant.ru/cons /cgi/online.cgi?req = doc;base = LAW;n = 18122.

103. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка: учебник по специальности 311300 «Механизация сельского хозяйства» / под ред. А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. – Москва: Колос, 1996. – 319 с.

104. Проников, А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – Москва: Машиностроение, 1978. – 519 с.

105. Прояников, А.С. Основы теории надежности: учебное пособие / А.С. Прояников. – Ростов на Дону: Издательский центр Донского государственного технического университета. – 2002. – 182 с.

106. Райншке, К. Оценка надежности систем с использованием графов / К. Райншке, И.А. Ушаков. – Москва: Радио и связь, 1988. – 209 с.

107. Рассказов, М.Я. Индустриальный ремонт машин в сельском хозяйстве / М.Я. Рассказов. – Москва: Информагротех, 2000. – 116 с.

108. Рассказов, М.Я. Методика расчета ремонтной базы с использованием ЭВМ / М.Я. Рассказов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. – № 3. – С. 22–25.

109. Рассказов, М.Я. Организация ремонтного производства агропрома / М.Я. Рассказов. – Москва: Россельхозиздат, 1990. – 205 с.

110. Розанов, Г.В. Статистическое моделирование развития отрасли / Г.В. Розанов. – Москва: Статистика, 1976. – 168 с.

111. РТМ 10 13.062-89. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Надежность. Классификация отказов по группам сложности. – 1989. – 28 с.

112. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т.Л. Саати. – Москва: Советское радио, 1971. – 520 с.

113. Северный, Э.И. Основные направления развития технического сервиса в АПК / Э.И. Северный // Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России: материалы научно-практическая конференция. ВИМ 15–16 октября 1997 г. – Москва, 1998. – С. 65–74.

114. Селиванов, А.И. Основы теории старения машин / А.И. Селиванов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1971. – 408 с.

115. Селиванов, А.И. Развитие ремонтной базы сельского хозяйства / А.И. Селиванов // Техника в сельском хозяйстве. – 1967. – № 11. – С. 76 – 83.

116. Селиванов, А.И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники / А.И. Селиванов, Ю.Н. Артемьев. – Москва: Колос, 1978. – 248 с.

117. Сергеев, В.З. Организация ремонта оборудования перерабатывающих отраслей АПК: аналитический обзор / В.З. Сергеев. – Москва: Информагротех, 1990. – 56 с.

118. Сергиенко, Е.В. Оптимизация количества постов текущего ремонта с учетом неравномерности поступления автомобилей: диссертация кандидата технических наук / Сергиенко Е.В. – Тюмень, 2004. – 165 с.

119. Сизенко, Е.И. Неотложные задачи пищевой и перерабатывающей промышленности / Е.И. Сизенко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 6. – С. 8–10.

120. Система стандартов «Надежность в технике», Основные положения: ГОСТ 27.001-95 – Введ. 01-01-1997. – Взамен ГОСТ 27.001-81. – Москва: Издательство стандартов, 2002. – 8 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/1438-GOST_27_001_95.html.

Симон, Д.В. Эксплуатационные методы повышения надежности зерноуборочных комбайнов// Вестник Дон. гос. техн. ун-та. - 2015. - Т.15, № 4(83). - С.38-40.

121. Современная концепция обслуживания и ремонта машин / Р.Ю. Соловьев, В.М. Михлин, А.В. Колчин // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 1. – С. 12–15.

122. Соломкин, А.П. Формирование и обеспечение готовности тракторов (на примере тракторов «Кировец»): автореферат диссертации доктора технических наук / А.П. Соломкин. – Новосибирск, 1984. – 37 с.

123. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 184 с.

124. Справочник по прикладной статистике. В 2-х томах. Т. 1. пер. с англ. / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – 510 с.

125. Справочник по прикладной статистике. В 2-х томах. Т. 2.: перевод с английского / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – 525 с.

126. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения: ГОСТ Р 1.0 – 2004. – Введ. 2005.-07-01. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 12 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: http://libgost.ru/gost/gost_r/58881Tekst_GOST_R_1_0_2004_Standartizaciya_v_Rossiiyskoiy_Federacii_Osnovnye_polozheniya.html.

127. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения: ГОСТ Р 50779.10-2000. – Введ. 2001-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2000. – 41 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru. – Режим доступа: libgost.ru/gost/26339-GOST__R_50779_10_2000.html.

128. Статистические методы. Основные положения: ГОСТ Р 50779.0-95 – Введ. 1996-07-01. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 3 с. – Электронный ресурс. – Сайт: www.libgost.ru – Режим доступа: libgost.ru/gost/26338-GOST__R_50779_0_95.html.

129. Степанов, М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний: справочник / М.Н. Степанов, А.В. Шаврин. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Москва: Машиностроение, 2005. – 400 с.

130. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / Ю.Ф. Лачуга и др. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.

131. Таха, Х. Введение в исследование операций: перевод с английского / Хемди А. Таха. – 7-е изд. – Москва: Вильямс, 2005. – 903 с.

132. Таха, Х. Введение в исследование операций: Т. 2, пер. с англ. / В.Я. Алтаева, Б.Т. Вавилова, В.И. Моторина. – Москва: Мир, 1985. – 496 с.

133. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: учебник для ВУЗов / под ред. Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1978. – 568 с.

134. Теслер, Л.А. Ремонт оборудования хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятий / Л.А. Теслер. – Москва: Колос, 1975. – 399 с.

135. Ульман, И.Е. Доклад, обобщающий работы в области технологии и организации ремонта машин, используемых в сельском хозяйстве, представленные на соискание ученой степени доктора технических наук / Ленинградский сельскохозяйственный институт. – Пушкин. – 1964. – 128 с.

136. Файн, В.Б. Об оценке вариантов технического решения на основе экспериментальных данных / В.Б. Файн, М.В. Дель // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 3. – С. 43–44.

137. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приближения / В. Феллер; пер. с англ. – Москва: Мир, 1984. – 527 с.

138. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложение, пер. с англ. / В. Феллер, под ред. Е.Г. Дынкина. – Москва: Мир, 1964. – 500 с.

139. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2-х томах / В. Феллер. – Москва: Мир, 1967. – Т. 1. – 498 с.

140. Фомин, В.Н. Метод выбора количественных характеристик надежности технологических устройств / В.Н. Фомин. – Москва: Знание, 1969. – 68 с.

141. Хабардин, В.Н. Современные направления развития технического обслуживания машин / В.Н. Хабардин // Техника в сельском хозяйстве. –2009. – № 5. – С. 28–30.

142. Харахашян, С.М. Совершенствование методов диагностирования гидравлической системы зерноуборочного комбайна: диссертация кандидата технических наук / С.М. Харахашян. – Ростов-на-Дону, 2012. – 240 с.

143. Хинчин, А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания / А.Я. Хинчин. – Москва: Колос, 1963. – 236 с.

144. Царев, Ю.А. Синтез модели управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов / Ю.А. Царев, Д.В. Симон // Тракторы и сельскохозяйственные машины.- 2015. - № 11. - С. 38-40.

145. Черноиванов, В.И. Состояние и основные направления развития технического сервиса на селе / В.И. Черноиванов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 6. – С. 2–5.

146. Черноиванов, В.И. Состояние и проблемы технического сервиса в АПК / В.И. Черноиванов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 7. – С. 2–5.

147. Шор, Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин. – Москва: Советское радио, 1968. – 284 с.

148. Юдин, М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов / М.И. Юдин. – Краснодар: КГАУ, 2004. – 239 с.

149. Gliem, Yoe A. et al. Variable costs of operating farm machinery in Ohio& Paper № 88–1505. American Society of Agricultural Engineers. St. Yoseph, 1988.

150. Moore, E.E. and C.E. Shannon, 1956. Reliable circuits using less reliable relays, Y. of the Franklin Institute, V. 262, Pt. Y. p. 191–208 and V. 262, Pt. 2, p. 281–297.

ПРИЛОЖЕНИЯ

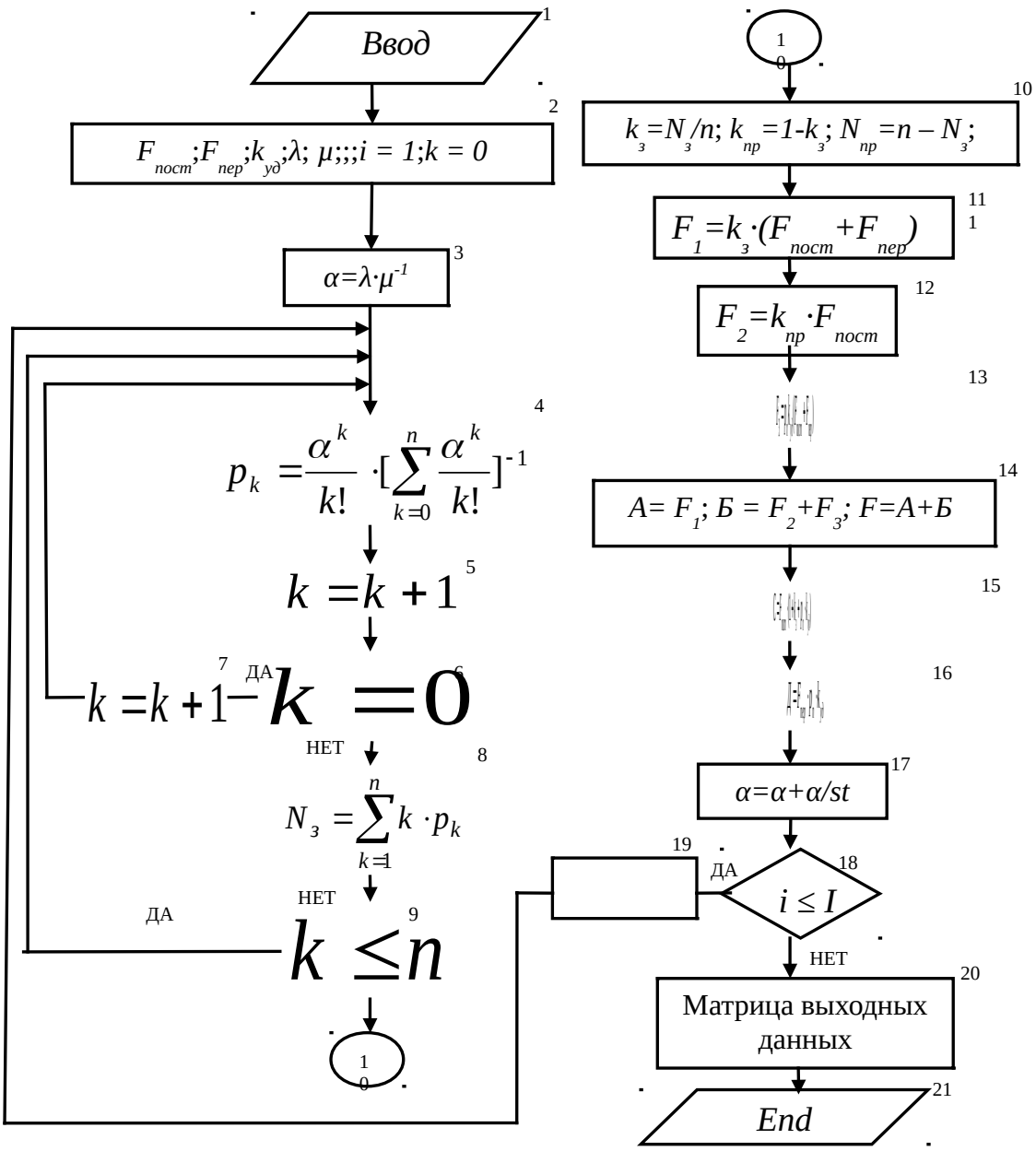
Приложение 1

Стоимость оборудования зерноперерабатывающих систем
по данным ОАО «Агролизинга»

Наименование	**Марка**	**Цена с НДС (руб.)**
Пневмосортировальная машина стационарная	ПСМ-25	380000
Пневмосепаратор с поворотными барьерами стационарный (разделение на 3 фракции)	ПСПБ-25	420000
Пневмосепаратор с поворотными барьерами самопередвижной (разделение на 3 фракции)	ПСПБ-25С	720000
Пневмосортировальная машина стационарная (разделение на 3 фракции)	ПСМ-10М	270000
Пневмосортировальная машина самопередвижная (разделение на 3 фракции)	ПСМ-10МС	450000
Универсальная зерноочистительная машина стационарная	УЗМ-30/15	450000
Барабанный сортировщик стационарный	БС-70	135000
Ленточный желобчатый конвейер	ЛЖК-300	165000
Сушилка зерновая карусельная (без теплогенератора)	СЗК-10Б	900000
Зернопогрузчик самоходный	СЗ-40	155000
Молотилка роликовая	МР-2	40000
Дробилка универсальная	ДУ-3	75000
Конвейер винтовой передвижной (длина 10 метров)	КВП-10	180000
Элеватор шнековый (длина 3,8 метров, диаметр – 120)	ЭШ-12/3800	45000
Нория подъемная круглая для зерна	2-НКЛ-25/13000	305000
Циклон	ЦН-3000	25000
Итого:		**4715000**

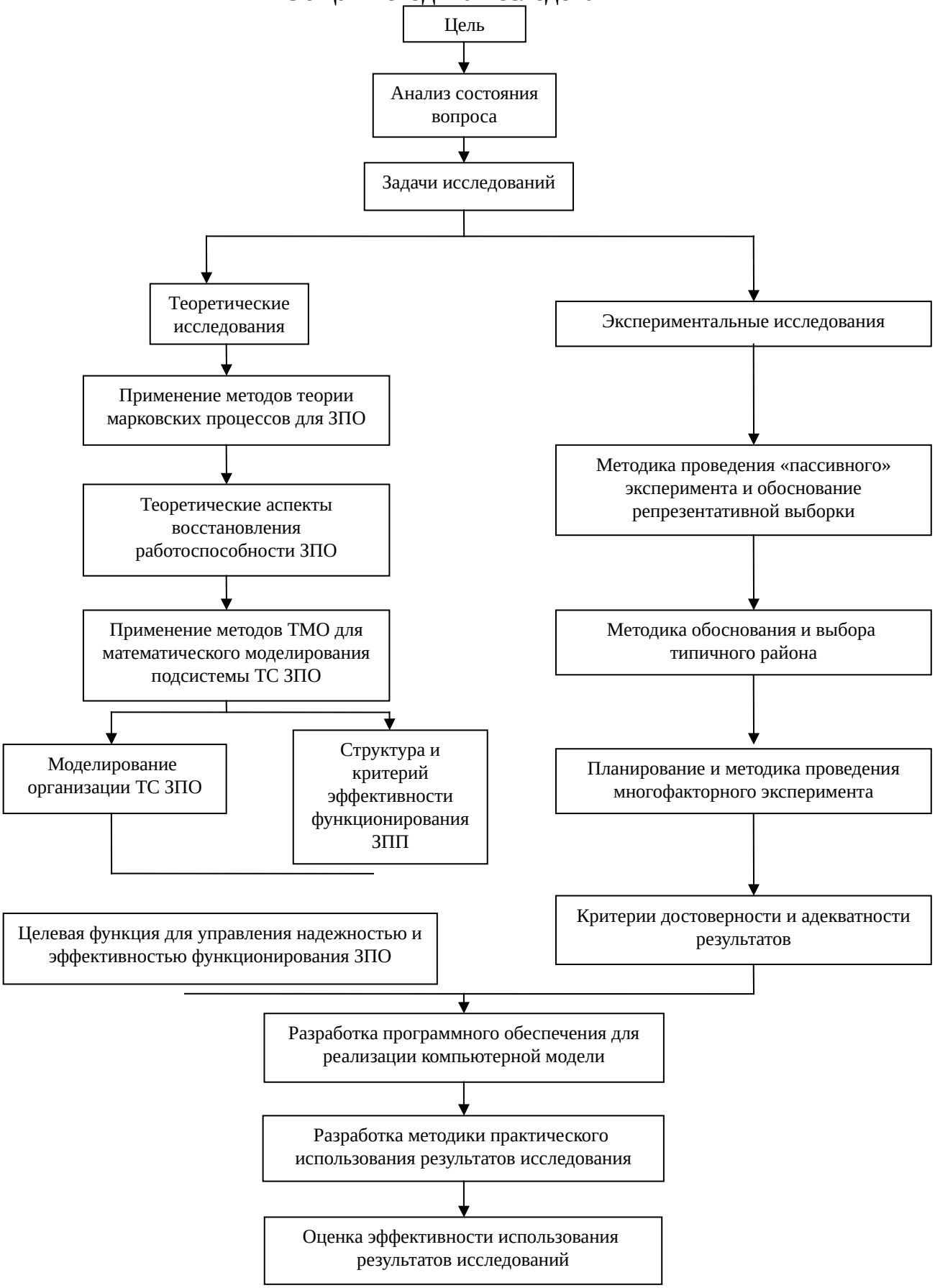
Приложение 2

Алгоритм моделирования показателей системы управления надежностью зерноперерабатывающего оборудования



Приложение 3

Общая методика исследований



Приложение 4

Показатели параметров типизации

показателяНаименование	Единицы измерения	Кагальницкий		Зерноградский		Егорлыкский		Целинский		Сальский		Песчанокопский		Среднее значение
		значение	% отклонения	значение	% отклонения	значение	% отклонения	значение	% отклонения	значение	% отклонения	значение	% отклонения	
Объем переработанной продукции	кг / тыс.г	127,3	74,62	71,54	1,87	58,9	19,2	34,6	52,54	102,5	40,60	42,60	41,56	72,90
Трудоемкость ремонтно-обслуживающих работ	чел.- / тыс.га	71,23	68,99	45,21	2,54	34,5	17,96	28,9	31,39	43,78	3,87	29,18	30,77	42,15
Количество ЗПО	шт.	11	46,67	11	46,67	3	60	7	6,67	8	6,67	5	33,33	7,5
Количество ЗПП, имеющих собственные ремонтные мастерские	шт.	4	0	5	25	2	50	4	0	6	50	3	25	4
Доля РОР, выполняемых на ЗПП	%	90	12,26	75	6,45	70	12,69	82	2,28	73	8,94	91	13,51	80,17
Обеспеченность предприятий кадрами операторов, рем. рабочих	%	96	3,23	94	1,08	90	3,23	86	7,53	97	4,3	95	2,15	93
Средний возраст ЗПО	лет	9	41,94	15	3,23	17	9,68	13	16,13	19	22,58	20	29,03	15,5

Окончание приложения 4

Затраты денежных средств на ремонт и ТОЗПО	тыс.р/ тыс.га	25	63,4	13	15.03	12	21,57	8	47,71	18	17,65	16	4,58	15,3
Количество проживающих в районе людей	тыс. чел.	31,3	44,53	60,94	7,99	38,7	31,42	33,5	40,51	142,8	153,06	31,29	44,55	56,43
Среднегодовое поголовье животных – КРС – коров – свиней – птицы	тыс. голов	 8 3,4 5,1 944,0	 27,14 33,98 47,31 195,28	 9,8 4,8 4,0 340,0	 10,75 6,8 58,68 6,35	 5,9 3,5 5,7 -	 46,27 32,04 41,12 -	 10,1 4,6 12,4 192,	 8,01 10,68 28,1 39,94	 25,4 10,8 22,2 212, 0	 131,33 109,79 129,34 33,69	 6,7 3,8 8,7 230,0	 38,98 26,21 10,12 28,06	 10,98 5,15 9,68 319,7
Расстояния между ЗПП и РТП	км	18	55	29	27,5	45	12,5	43	7,5	55	37,5	50	25	40
Коэффициент формы территории		1,06	5,36	1,16	3,57	1,18	5,36	1,06	5,36	1,18	5,36	1,08	3,57	1,12
Коэффициент кривизны дорог		1,37	8,05	1,48	0,67	1,60	7,38	1,24	16,78	1,45	2,68	1,79	20,13	1,49
Площадь пашни	т.га	114,86	33,83	214,70	23,69	118	32,1	178	2,3	260,0	49,79	156,22	10	173,58
Площадь сельскохозяйственных угодий	тыс. га	125,1	35,55	231,8	19,42	134	31,01	195	0,46	305,9	57,6	172,9	10,92	194,1
∑отклонений			862,73		282,72		487,29		338,13		939,29		441,01	

Приложение 5

Матрица рангов

(m)Исследователи	Факторы (n=15)															$T_i=\sum(t_j-t_i)$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	
1	15	12	11	7	8	10	7	6	6	5	4	2	3	2	2	36
2	18	13	10	8	9	9	6	4	7	3	4	3	2	4	2	42
3	17	13	12	7	7	7	7	7	4	5	4	3	4	2	1	144
4	12	14	10	6	8	6	4	8	4	6	3	4	2	3	2	66
5	17	15	11	9	6	4	6	9	5	7	3	2	3	2	3	36
6	13	11	11	10	5	5	7	7	6	6	4	3	3	2	2	36
7	15	12	14	4	10	8	9	7	8	8	2	3	3	3	2	54
8	15	13	12	10	8	11	7	5	3	5	4	2	2	2	2	66
9	18	15	12	11	6	7	6	6	5	6	3	4	4	1	1	72
10	12	10	10	17	4	5	10	4	6	4	5	3	3	2	2	66
11	13	14	12	8	7	8	6	6	7	3	3	3	2	2	3	84
12	15	15	11	12	4	6	7	5	5	4	3	2	2	3	2	48
13	16	14	11	10	6	3	6	7	6	6	4	3	2	3	1	84
14	16	12	12	11	3	7	5	7	4	7	2	2	3	2	2	96
15	11	15	13	12	11	4	5	9	5	4	4	2	2	2	3	60
16	12	11	10	13	8	8	6	7	3	5	3	3	4	3	2	66
17	13	13	12	9	10	9	7	5	4	4	5	2	3	2	2	48
18	16	12	13	9	5	5	7	4	6	6	4	3	2	2	1	24
19	12	11	10	10	9	7	6	5	8	2	4	4	3	4	2	36
20	16	10	12	8	7	9	7	6	4	5	3	3	2	2	2	36
$\sum_{1}^{m} a_{ij}$	292	255	229	191	141	138	131	124	106	101	71	56	54	48	39	$\sum_{1}^{15}\sum_{1}^{20} a_{ij}$ =1976
Δ_i	160	123	97	59	9	6	-1	-8	-26	-31	-61	-76	-78	-84	-93	
$(\Delta_i)^2$	25600	15129	9409	3481	81	36	1	64	676	961	3721	5776	6084	7056	8649	S=86724

Приложение 6

Условные обозначения

АОТС – автономная (децентрализованная) организация технического сервиса
БРМЛ – базовая ремонтно-диагностическая лаборатория
ВОФ – возвратно-обменный фонд
ГСМ – горюче-смазочные материалы
ДОТС – децентрализованная (автономная) организация технического сервиса
ДОТС – дилерская (централизованная) организация технического сервиса
ЗПО – зерноперерабатывающее оборудование
ЗПП – зерноперерабатывающее предприятие
ИТС – инженерно-техническая служба
ИТП – инженерно-технический персонал
КПА – контрольно-поверочная аппаратура
КОТС – комбинированная организация технического сервиса
МАОП – машины, агрегаты и оборудование для переработки
МВТС – Место выполнения технического сервиса
МСХ РФ – Министерство сельского хозяйства России
НПП – инструктивные материалы по производству работ
НТД – нормативно-техническая документация
НТП – нормы технических параметров
ОМТС – отдел материально-технического снабжения
ОРД – организационно-распорядительная документация
ОТК – отдел технического контроля
ОТЭРЗПО – Отдел технической эксплуатации и ремонта зерноперерабатывающего оборудования
ПДО – производственно-диспетчерский отдел
ПДСППП – производственно-диспетчерская служба перерабатывающего предприятия
ПТ – перерабатывающая техника
РТЭ – руководство по технической эксплуатации
РТО – регламент технического обслуживания
СИ – средства измерений
СУН – система управления надежностью
ТС – технический сервис
ТЭ – техническая эксплуатация
ТЭРД – типовая эксплуатационная и ремонтная документация
ЦОТС – централизованная организация технического сервиса
ЭВМ – электронно-вычислительная машина
ЭД – эксплуатационная документация
ЭРД – эксплуатационная и ремонтная документация

Научное издание

Курочкин Валентин Николаевич,

Кущева Елена Николаевна,

Никитченко Сергей Леонидович

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА: ОРГАНИЗАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Монография