

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

Сидоров Борис Борисович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ
ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА
НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ
С УЧЕТОМ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ**

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса.

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Карелина Мария Юрьевна

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА В РФ	14
1.1 Анализ состояния производства сельскохозяйственной техники в РФ	14
1.2 Анализ состояния технического сервиса и возрастной структуры машинно-тракторного парка на предприятиях агропромышленного комплекса РФ	21
1.3 Анализ актуальных требований к современной модели управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники.....	33
Выводы по первой главе.....	44
2. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	46
2.1 Модели определения показателей при организации систем управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники	46
2.2 Формы представления комплексного показателя реализуемого качества в системе управления возрастной структурой машинно-тракторного парка	52
2.3 Методы многокритериальной оценки совокупности потребительских свойств сельскохозяйственной техники в системе управления возрастной структурой парка	60
Выводы по второй главе.....	67
3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	69
3.1 Алгоритм представления показателей ТО и ТР МТП в виде дискретных зависимостей.....	69

3.2 Математическая модель управления возрастной структурой парка МТП на базе дискретных форм представления показателей ТО и ТР	74
3.3 Математическая модель определения коэффициента, учитывающего изменение эффективности сельскохозяйственной техники с учетом потребительских свойств.....	81
Выводы по третьей главе.....	84
4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА	86
4.1 Исходные данные для моделирования процесса управления возрастной структурой машинно-тракторного парка.....	86
4.2 Применение математической модели для оценки эффективности сельскохозяйственной техники по нескольким критериям оптимизации	90
4.3 Определение стратегий формирования оптимальной возрастной структуры машинно-тракторного парка	99
Выводы по четвертой главе.....	110
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА.....	112
5.1. Программно-аппаратное обеспечение управления возрастной структурой машинно-тракторного парка	112
5.2. Методика расчета эффективности использования программно-аппаратного обеспечения управлением возрастной структурой машинно-тракторного парка	115
Вывод по пятой главе.....	122
Заключение	124
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	128

ПРИЛОЖЕНИЯ 141

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Производство сельскохозяйственной техники в РФ неуклонно увеличивается на протяжении последних пяти лет. Общая стоимость произведённой и выпущенной отечественной сельскохозяйственной техники в период с 2015 г. по 2020 г. увеличилась с 35,5 млрд. руб. до 107,2 млрд. руб. и продолжает увеличиваться. Положительной тенденцией является то, что доля техники, выпущенной российскими производителями на внутренний рынок выросла в два раза (с 24% до 56%). Значительно нарастить объёмы производства сельскохозяйственной техники удалось благодаря принятию постановления Правительства РФ от 27 декабря 2012 г. №1432 «Об утверждении Правил предоставления субсидий производителям сельскохозяйственной техники». Детально проработанный механизм программы позволяет приобретать технику со скидкой в 15-20%. Модернизация отечественного агропромышленного комплекса (АПК) в целом оказывает значительное влияние на достижение рекордных урожаев в последние годы в РФ. Тем не менее, по данным Минсельхоза России, общее количество тракторов и зерноуборочных комбайнов, а РФ снизилось в три раза по сравнению с 1990 годом, а площадь засеваемых полей сократилась примерно на 12%. Следовательно, удельная нагрузка на единицу техники увеличилась в три раза. Для сравнения на 1000 га пашни в РФ приходится два трактора, в Германии – 60, в Белоруссии – 9, а в США – 25, причём более 75% отечественной техники отработали на полях более 10 лет. В итоге потери урожая по данной причине составляют от 10 до 15%. Для полноценного обновления машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве РФ по данным по данным Минсельхоза РФ потребуется более 1,6 трлн рублей. Для обеспечения эффективности процесса в течение 10 лет необходимо ежегодно вводить в эксплуатацию 56 тыс. тракторов и 16 тыс. зерноуборочных комбайнов. Закономерно, что в течении последних 5

лет объёмы приобретаемой техники выросли в 34 раза, что существенно отразилось на среднем возрасте машинно-тракторного парка.

Важно, отметить, что изменения среднего возраста машинно-тракторных парков во времени должен носить монотонный колебательный характер, отражающий дисбаланс поставок и списания техники, а также изменение фактических сроков службы техники. Для выполнения одного и того же годового объема работы потребность в парке техники в зависимости от возрастной структуры парка может изменяться до 40%. Если средний возраст и возрастная структура машинно-тракторного парка АПК в целом кажется достаточно стабильной величиной, но для отдельных предприятий они могут существенно изменяться за небольшие промежутки времени, что не может не отразиться на показателях эффективности работы АПК в целом: потребных ресурсах, величине коэффициента технической готовности, производительности работ, величине производственно-технической базы (ПТБ). Поэтому необходимо: во-первых, правильно определить существенную возрастную структуру парка; во-вторых, её прогнозировать с учётом объёма поставки новых и списания старой техники; в-третьих, управлять возрастной структурой парков.

Выбор наиболее эффективного варианта использования машинно-тракторного парка (МТП) применительно к конкретным условиям эксплуатации с учетом потребительских свойств, реальных объемов и сложившейся возрастной структуры парка является сложной оптимизационной задачей. Состав и структура машинно-тракторного парка должна соответствовать специфическим условиям применения, а именно: возможным объёмам и срокам выполнения работ, оптимальному сочетанию агротехнических сроков выполнения технологических операций, учитывающими климатические и географические факторы и, естественно, увеличение затрат на содержание парка, учитывающие перечисленные факторы. Обеспечивать научно обоснованные размеры текущего обновления сельскохозяйственной техники необходимо применяя методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка адаптированные в современных условиях его эксплуатации.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы, связанные с управлением возрастной структуры парка подвижного состава, освещались и рассматривались в научных трудах Авдонькина Ф.Н., Аринина И.Н., Бондаренко В.А., Говорущенко Н.Я., Варнакова В.В., Гатаулина А. И., Гобермана В. А., Гостева В.А., Дидманидзе О.Н., Дзоценидзе, Т.Д., Кузнецова Е.С., Кормакова Л.Ф., Королькова Ю.А., Пехутова А.С., Прудовского Б.Д., Скороходова А.Н., Сорокина А.А., Улезко В.В., Хасанова Р.Х., и других авторов. Работы этих авторов явились основой для проведения данного исследования. В проанализированных научных работах динамика изменения показателей технического состояния машинно-тракторного парка в процессе технической эксплуатации (ТЭ), как правило, оценивается непрерывными формами математических зависимостей. Значимой ролью данного подхода является доступная понятливость математического представления исследуемых процессов. Но реальная практика технического обслуживания и ремонта техники (ТО и Р) показывает, что данный подход может приводить к неточностям, связанным с оценкой деятельности машинно-тракторного парка отдельного предприятия, что негативно отражается на процедурах управления возрастной структурой. В исследовании предполагается использовать дискретные формы представления показателей ТЭ для уточнения зависимостей изменения реализуемых на практике значений технических показателей: коэффициента технической использования и срока службы в целях совершенствования методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка.

Цель исследования – разработка методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка с учетом потребительских свойств транспортно-технологических машин, определяемой дискретной математической моделью изменения номенклатуры показателей ТО и ТР.

Задачи исследования:

1. Анализ современной возрастной структуры и обоснование необходимости регулирования процессов управления возрастной структурой машинно-тракторного парка предприятий АПК.

2. Определение соответствия методологической базы управления возрастной структурой машинно-тракторного парка предприятий АПК актуальным требованиям научно-технического прогресса и условиям функционирования.
3. Разработка научных подходов управления возрастной структурой на основе математической модели дискретных зависимостей изменения технического состояния машинно-тракторного парка предприятий АПК.
4. Разработка математической модели представления в дискретной форме показателей удельной трудоёмкости ТО и ТР (чел.-ч / 100 м·ч) и коэффициента технического использования транспортно-технологических машин предприятий АПК, позволяющей уточнить методику управления возрастной структуры парка с учетом потребительских свойств.
5. Разработка алгоритма, автоматизирующего процесс процедуры управления возрастной структурой машинно-тракторного парка на базе оперативного анализа показателей ТО и ТР, представленных в виде дискретных зависимостей изменения в процессе эксплуатации.
6. Техничко-экономическая оценка применения разработанной методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка.

Объект исследования – технические средства производства сельскохозяйственных товаропроизводителей, включающие самоходные транспортно-технологические машины.

Предмет исследования – методика, методы и математические модели управления возрастной структурой машинно-тракторных парков предприятий АПК, основанные на комплексных и удельных показателях технической эксплуатации.

Рабочая гипотеза. Существующие методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка основаны на положении, что динамика изменения показателей технического состояния машинно-тракторного парка в процессе его ТЭ рассматривается в виде неконвертируемых форм математических зависимостей, и это, во втором своем виде, дает возможность использовать классиче-

ские инструменты математического анализа, основанного на операциях дифференцирования и интегрирования непрерывных функций. Преимуществом такого подхода является простое математическое представление исследуемых процессов, однако бывают случаи, когда использование классических математических методов анализа данных оказывается невозможным или такое представление неизбежно затягивается после возникновения определённой некорректности данных. Поэтому, необходимо разработать научно-обоснованный аппарат принятия оптимальных решений в прикладной задаче структуризации машинно-тракторного парка по возрасту.

Методология и методы исследования. При разработке методов и математических моделей управления возрастной структурой машинно-тракторных парков предприятий АПК применялась методология системного анализа, методы теории вероятностей, регрессионного анализа, математического, численного и прикладного моделирования процессов принятия управляющих решений.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса:

- пункту 17 «Научно-технологическая политика, методологические основы формирования, оптимизации и прогноз развития комплексов, систем и парков машин»;
- пункту 23 «Управление жизненным циклом средств механизации, автоматизации и роботизации в агропромышленном комплексе»

Научная новизна исследования заключается в разработке:

- математической модели управления возрастной структурой машинно-тракторного парка предприятий АПК, определяющую рациональный срок служб транспортно-технологических машин посредством дискретной формы анализа показателей ТО и ТР;
- графоаналитических зависимостей, определяющих расхождение значений сроков службы транспортно-технологических машин, на основе сравнения значе-

ний показателей ТО и ТР, определяемых посредством непрерывных и дискретных математических форм представления;

- алгоритма автоматизированной реализации метода управления возрастной структурой парка транспортно-технологических машин предприятий АПК парка на базе оперативного анализа комплексных показателей ТО и ТР.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке научного метода, позволяющего вырабатывать эффективные решения по управлению возрастной структурой парка транспортно-технологических машин предприятий АПК посредством представления показателей ТО и ТР в виде дискретных математических зависимостей.

Практическая значимость диссертационного исследования определяется возможностью внедрения в практику предприятий АПК следующих результатов:

- программного обеспечения, выполненного по алгоритму автоматизированной реализации метода управления возрастной структурой парка транспортно-технологических машин предприятий АПК на базе оперативного анализа комплексных показателей ТО и ТР.
- общей методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка на базе модели дискретных форм зависимостей показателей, локализуемой для частных случаев предприятий АПК.

Практические результаты исследования могут быть использованы предприятиями агропромышленного комплекса в целях эффективного управления возрастной структурой парка транспортно-технологических машин для обеспечения их эффективной эксплуатации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель представления показателей удельной трудоёмкости ТО и ТР и коэффициента технического использования машинно-тракторного парка предприятий АПК в дискретной форме, позволяющая уточнить методику управления возрастной структурой парка с учетом его рационального срока службы.

2. Математическая модель управления возрастной структурой машинно-тракторного парка предприятий АПК, определяющая рациональный срок службы транспортно-технологических машин посредством дискретной формы анализа показателей ТО и ТР.
3. Графоаналитические зависимости, определяющие расхождение значений сроков службы транспортно-технологических машин на основе сравнения значений показателей ТО и ТР, определяемых посредством непрерывных и дискретных математических форм представления.
4. Алгоритм автоматизированной реализации метода управления возрастной структурой машинно-тракторного парка предприятий АПК на базе оперативного анализа комплексных показателей ТО и ТР
5. Методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка на базе модели дискретных форм зависимостей показателей.
6. Техничко-экономическое обоснование применения разработанной методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка.

Личный вклад автора состоит в непосредственном исполнении всех этапов работы: критического обзора известных методов управления возрастной структурой парков транспортных и транспортно-технологических машин, формулировании рабочей гипотезы, постановкой цели и задач исследования, теоретических исследований подходов к эффективному управлению возрастной структурой, обработкой и анализом фактических данных предприятий агропромышленного комплекса, апробации результатов теоретических и экспериментальных исследований, подготовке публикаций по теме исследования.

Степень достоверности результатов исследования обеспечена системной проработкой проблемы управления возрастной структурой парка, корректностью поставленных задач и их решением, результатами сравнения зависимостей, определяющих расхождение значений сроков службы транспортно-технологических машин на основе сравнения значений показателей ТО и ТР, определяемых посредством непрерывных и дискретных математических форм представления, а также основанием исследований на:

- использовании апробированных методов системного анализа и математического аппарата, программно-целевом методе, методах теории вероятностей, методах исследования операций и математической статистики;
- отсутствием противоречий с проведенными ранее исследованиями других авторов по управлению возрастной структурой парка транспортных и транспортно-технологических машин и их технической эксплуатации.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследования доложены и одобрены на всероссийских и международных научно-практических конференциях:

1. Научный семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского, Москва, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 25–26 января 2023 года.

2. Международная научно-техническая конференция имени А.Ф. Ульянова «Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» 3-4 октября 2023 года.

3. Международная конференция «2022 Интеллектуальные технологии и электронные устройства в транспортных средствах и дорожно-транспортном комплексе» / International Scientific Conference «2022 Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex», Москва, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) 10-11 ноября 2022 года.

4. 26-я Московская международная межвузовская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы», Москва, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 12-13 мая 2022 г.

5. Научный семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского, Москва, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 25-26 января 2022 года.

Публикации и патенты. Основные положения и результаты исследования опубликованы в 8 печатных работах, в том числе 3 в рецензируемых журналах, входящих в рекомендованный список ВАК РФ. Общий объем публикаций составляет 3,05 п.л., из них 2,50 п.л. принадлежит автору.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация содержит: введение, 5 глав, заключение, список литературы из 118 наименований и приложений с материалами, отражающими уровень практического использования результатов исследования. Работа изложена на 144 страницах основного текста.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА В РФ

1.1 Анализ состояния производства сельскохозяйственной техники в РФ

Темпы производства сельскохозяйственной техники в РФ неуклонно растут в течение последних пяти лет. Общая стоимость выпущенной сельскохозяйственной техники в период с 2013 по 2017 год с 35,5 млрд. руб. до 107,2 млрд. руб., а доля производителей РФ выросла с 24% до 56% за этот же период времени. Этот серьезный рост и положительная динамика объясняется мерами государственной поддержки, а также повышением качества продукции отечественного сельскохозяйственного машиностроения. Значительно увеличить объемы производства сельскохозяйственной техники удалось благодаря принятию Правительством РФ постановления РФ от 27 декабря 2012 г. № 1432 «Об утверждении Правил предоставления субсидий производителям сельскохозяйственной техники» [1]. Механизм этого документа вступил в действие семь лет назад и позволяет приобретать продукцию отечественных предприятий со скидкой на 15-20%. Благодаря этой программе, объемы приобретаемой техники выросли в ежегодном исчислении на порядок.

Но несмотря достигнутые успехи динамические показатели обновления парка сельскохозяйственной техники в РФ остаются нестабильными. Например, в первом квартале 2018 года по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года наблюдалась разнонаправленная динамика изменений в отрасли. Производство зерноуборочных комбайнов снизилось на 19%, а выпуск кормоуборочных комбайнов увеличился на 46%, выпуск полноприводных сельскохозяйственных тракторов увеличился всего 0,5%, а машин для внесения минеральных удобрений

на 19% и т.д. Тем не менее, согласно стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения в РФ до 2030 года, средний рост производства должен составить около 15% [2]. Документ предусматривает активное обновление сельскохозяйственной техники (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Машинно-технологическая модернизация сельского хозяйства в текущем периоде (до 2020 г.).

Вид техники	2006г.	2008г.	2012г.	2017г.	2020г.
Тракторы	560/43	517/51	578/62	665/76	750-800/81
Зерноуборочные комбайны	148/44	137/48	151/59	185/73	200-210/80
Кормоуборочные комбайны	36/67	29/58	36/73	40/79	43-50/83
Культиваторы	198/52	179/48	199/59	220/78	250/86
Сеялки	247/68	222/59	254/76	281/83	300/92

*в числителе – наличие, тыс. ед., в знаменателе – оснащенность, %

То есть можно говорить о том, что государство сегодня эффективно поддерживает развитие отечественного сельскохозяйственного машиностроения и формирует предпосылки для его развития. Но если оценить удельные показатели оснащённости АПК необходимой техникой, то ситуация остаётся сложной - техники не хватает. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, общее количество тракторов и зерноуборочных комбайнов по сравнению с 1990 годом по настоящее время сократилось в три раза, при этом обрабатываемая площадь сократилась всего на 12% (рисунок 1.1).

Следовательно, нагрузка на единицу сельскохозяйственной техники увеличилась в три раза по сравнению с 1990 годом.

Например, один зерноуборочный комбайн обрабатывает за сезон около 800...900 га, а по нормативам его нагрузка должна составлять 300...350 га. Для сравнения:

- в РФ на 1000 га обрабатываемых земель приходится 2 трактора,
- в Белоруссии – 9 тракторов,

- в США – 25 тракторов,
- в Германии – более 60 (рисунок 1.2 и 1.3).

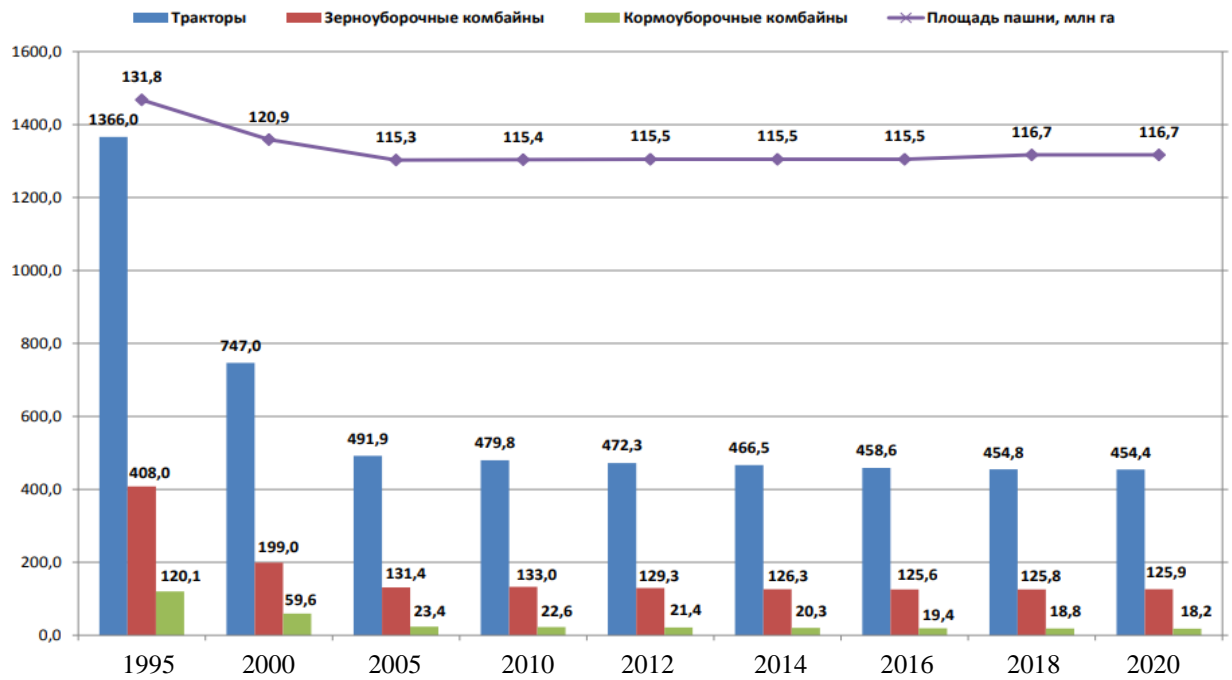


Рисунок 1.1 – Наличие основных видов сельскохозяйственной техники в 1995...2020 гг., тыс. ед.

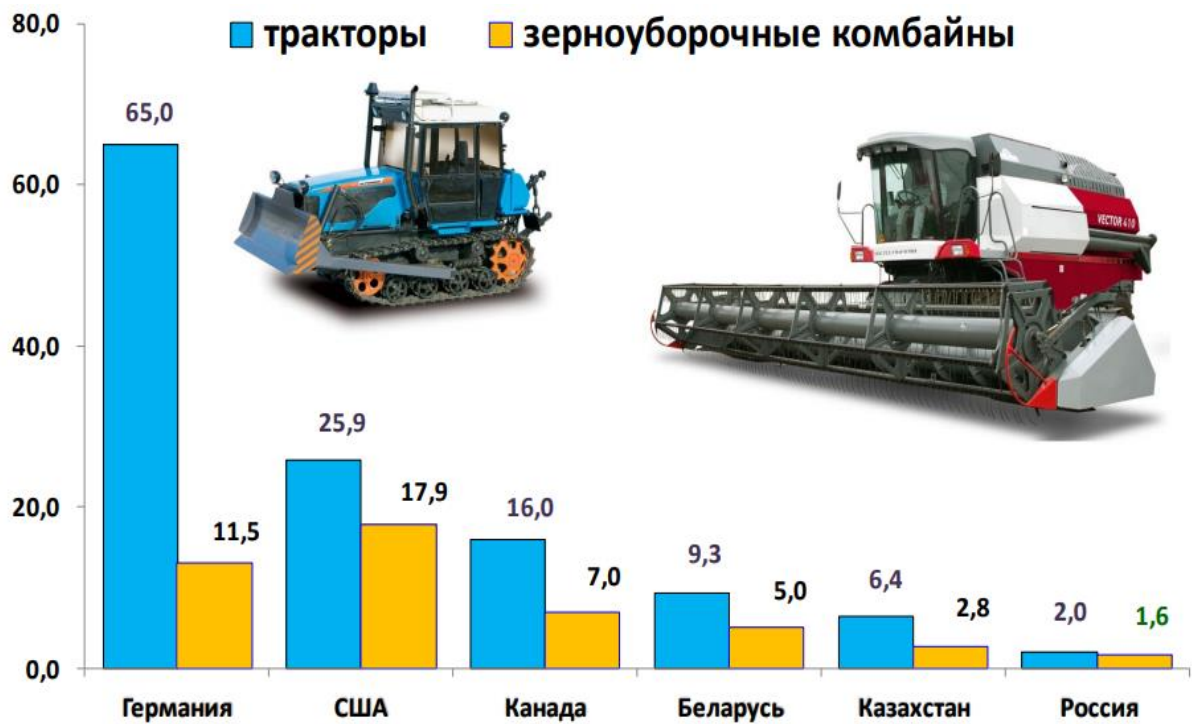


Рисунок 1.2 – Обеспеченность основными видами техники в ряде стран мира (тракторов на 1000 га пашни, комбайнов на 1000 га посевов зерновых культур)

Причём более двух третей отечественных автомобилей, тракторов и комбайнов уже отработали на наших полях более десяти лет. Фактически, многие хозяйства эксплуатируют технику, которую при упомянутой нагрузке давно пора утилизировать [3, 4, 5, 6]. В итоге: ежегодные потери урожая по данной причине составляют от 10 до 15% (рисунок 1.3).

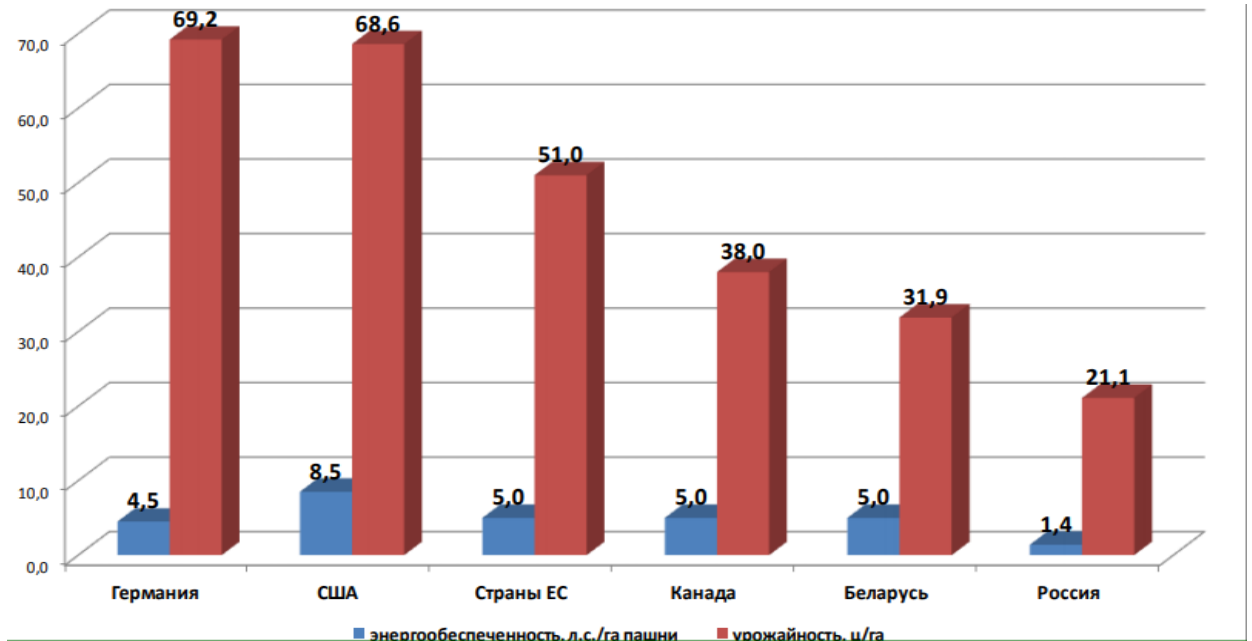


Рисунок 1.3 – Влияние энергообеспеченности сельскохозяйственной техникой на урожайность зерновых культур в РФ и других странах (в среднем за 5 лет)

Согласно статистическим данным нормативный срок эксплуатации большинства видов сельскохозяйственной техники составляет около 10 лет. Важно учитывать, например, для тракторов нормативный ресурс составляет около 8000 мото-часов, но в РФ эта наработка редко соблюдается.

В федеральных и региональных агропромышленных холдингах установленный ресурс вырабатывается в течение четырех-шести лет (технику эксплуатируют, используя максимум возможного времени продолжительности эксплуатации в течение года, перемещая ее между подразделениями по мере наступления оптимального периода полевых работ, соответствующих назначению машины). В некоторых случаях при условии рачительного отношения к технике или при невозможности обновления по экономическим причинам техника может проработать до 15 и бо-

лее лет, но это, как правило, исключение. Естественно, что долговечность и надёжность сельскохозяйственной техники зависит от нагрузки, соблюдения регламентов и нормативов по сервисному обслуживанию и эксплуатации [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Но даже при соблюдении нормативов нагрузки на единицу техники, согласно данным Министерства сельского хозяйства РФ, для полноценного обновления машинно-тракторного парка по основным видам техники потребуется более 1,6 трлн рублей. То есть, в течение десяти лет необходимо ежегодно вводить в эксплуатацию около 56 тыс. тракторов и 16 тыс. комбайнов [13] (рисунок 1.4).

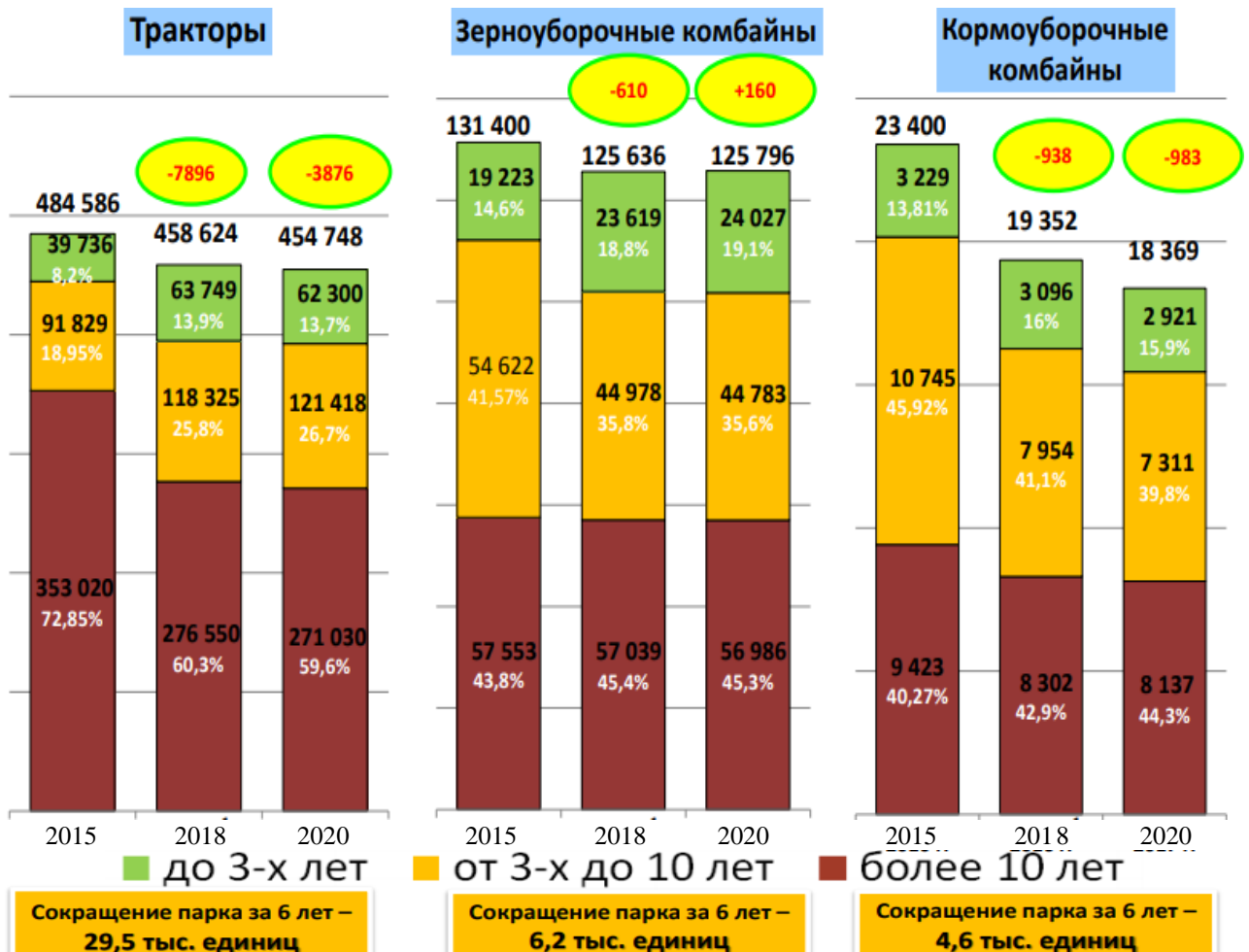


Рисунок 1.4 – Структура парка сельскохозяйственной техники, 2015... 2020 гг. %.

Таким образом требуемые сегодня объемы сельскохозяйственной техники существенно превышают существующие поставки. Важно отметить, что изменения среднего возраста машинотракторных парков во времени должны носить мо-

нотонный колебательный характер, отражающий дисбаланс поставок и списания техники, а также изменение фактических сроков службы техники (рисунки 1.5 и 1.6). Диаграммы на рисунках 1.5 и 1.6 демонстрируют стабильную динамику производства и поставки сельскохозяйственной техники в АПК, что позволяет организовать процесс сбалансированного управления возрастной структурой машинно-тракторного парка в отрасли. Для выполнения одного и того же годового объема работы потребность в парке техники в зависимости от возрастной структуры парка может изменяться до 40%.



Рисунок 1.5 – Динамика производства колесных тракторов в РФ [14]

Если средний возраст и возрастная структура машинно-тракторного парка АПК в целом кажется достаточно стабильной величиной, но для отдельных предприятий они могут существенно изменяться за небольшие промежутки времени, что не может не отразиться на показателях эффективности работы АПК в целом: потребных ресурсах, величине коэффициента технической готовности, производительности работ, величине производственно-технической базы (ПТБ).



Рисунок 1.6 – Динамика производства зерноуборочных комбайнов в РФ [14]

Поэтому можно обоснованно выделить комплекс целей повышения эффективности эксплуатации машинно-тракторного парка АПК [15, 16, 17, 18, 19]. Необходимо:

- 1) правильно определить существенную возрастную структуру парка и оценить рационально-эффективные сроки эксплуатации техники;
- 2) достоверно прогнозировать необходимую возрастную структуру с учётом объёма поставки новых и списания старой техники;
- 3) эффективно управлять возрастной структурой парков как на уровне отдельных предприятий, так и в целом в отрасли.

Выбор наиболее эффективного варианта использования машинно-тракторного парка применительно к конкретным условиям эксплуатации с учетом реальных объемов и сложившейся возрастной структуры парка является сложной оптимизационной задачей, в которой важное значение имеет величина рационального срока службы техники [20, 21, 22, 23]. Обеспечивать научное обоснованные размеры текущего обновления сельскохозяйственной техники необходимо применяя методики управления возрастной структурой парка машинно-тракторного парка адаптированные в современных условиях его эксплуатации.

1.2 Анализ состояния технического сервиса и возрастной структуры машинно-тракторного парка на предприятиях агропромышленного комплекса РФ

Основным условием, выполнение которого позволит стабильно развивать АПК РФ, является его техническое переоснащение. Современная состояние возрастной структуры и технического оснащения машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве РФ является важнейшим фактором, сдерживающим технологическое развитие и модернизацию АПК. Ситуацию осложняют общие неблагоприятные и сдерживающие тенденции в обеспечении АПК сельскохозяйственной техникой [23, 24, 25, 26]:

- 1) значительное превышение (в 2...3 раза) доли необходимой для списания сельскохозяйственной техники над долей обновляемой техники;
- 2) около 70% машинно-тракторного парка АПК и вспомогательного оборудования выработало свой ресурс, поэтому его поддержание в работоспособном состоянии требует повышенных затрат, что снижает рентабельность производства в целом (рисунок 1.7 и 1.8);
- 3) большинство предприятий АПК из-за низкой покупательной способности испытывают трудности при самостоятельном обновлении материально-технической базы (МТБ);
- 4) разрушенная, ранее существующая система обеспечения и ТО и ремонта сельскохозяйственной техники, что не может не отражаться на результативных показателях её работы.

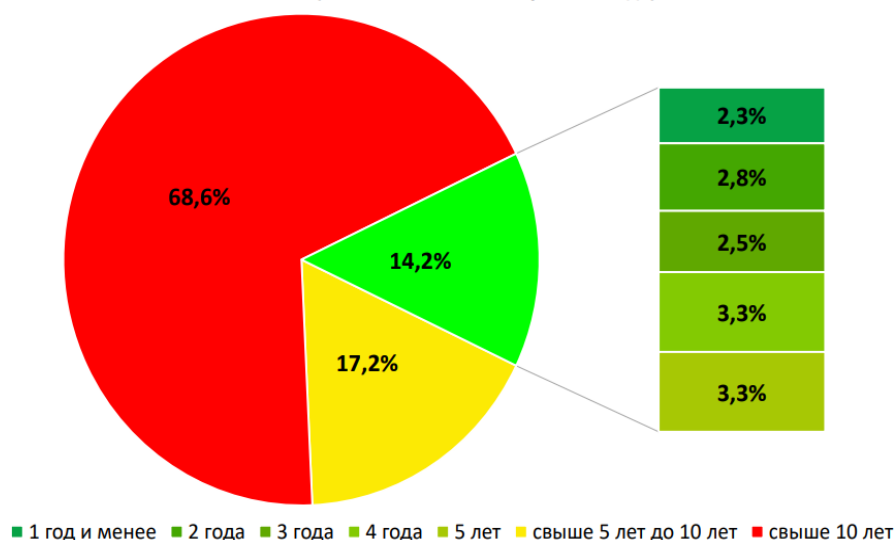


Рисунок 1.7 – Возрастной состав парка сельскохозяйственной техники в АПК по состоянию на конец 2020 г. (аналитические данные ФГИС УСМТ).

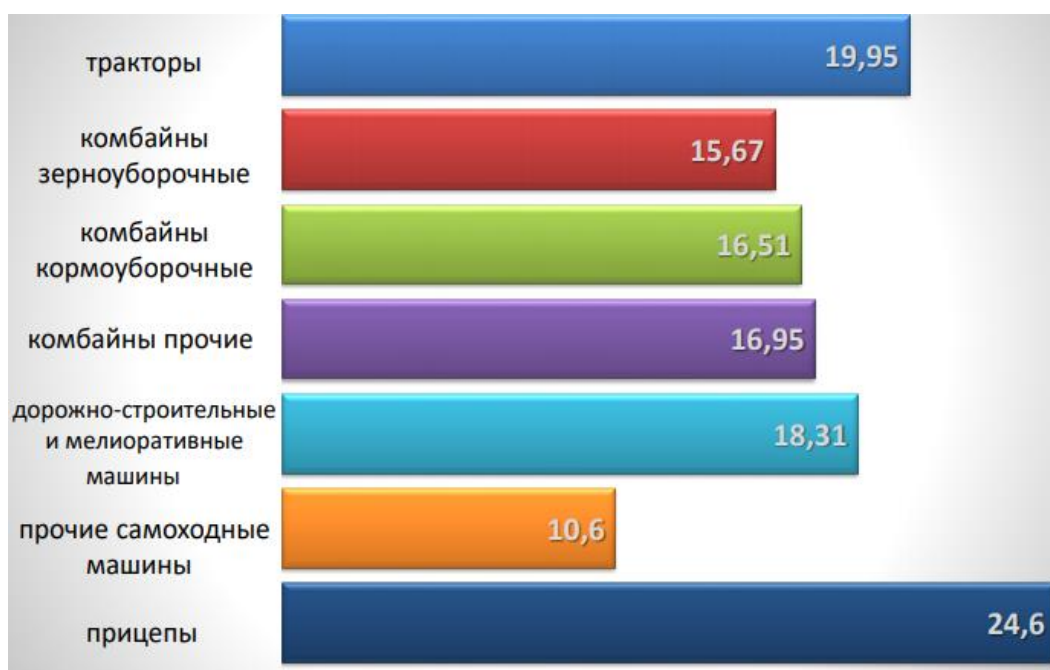


Рисунок 1.8 – Структура парка сельскохозяйственной техники в АПК по средней продолжительности эксплуатации на конец 2020 г. (аналитические данные ФГИС УСМТ).

По первым трём пунктам существуют положительные сдвиги благодаря принятию постановлению правительства № 1432 [1]. В частности, в 2017 году Правительство РФ выделило 15,7 млрд руб. на субсидирование покупок новой техники. В результате чего в 2018 г. резко увеличился выпуск кормоуборочных

комбайнов увеличился на 46%, самоходных опрыскивателей-разбрасывателей в 2,1 раза, машин для внесения минеральных удобрений на 19%, до 247 единиц и т.д.

Снижение негативных тенденций четвёртого пункта требует восстановления и реорганизации системы ТО и ремонта (технического сервиса) сельскохозяйственной техники, внедрение методов фирменного обслуживания [25]. В частности, в [25] отмечается, что поступающие на рынок сельскохозяйственной техники машины отечественного производства имеют низкие технико-экономические показатели работы не только из-за недостаточной эксплуатационной надёжности, но и из-за неэффективной системы технического сервиса (рисунок 1.9 и 1.10). Что, в свою очередь, не позволяет в полной реализовать современные достижения в развитии агропромышленных технологий.

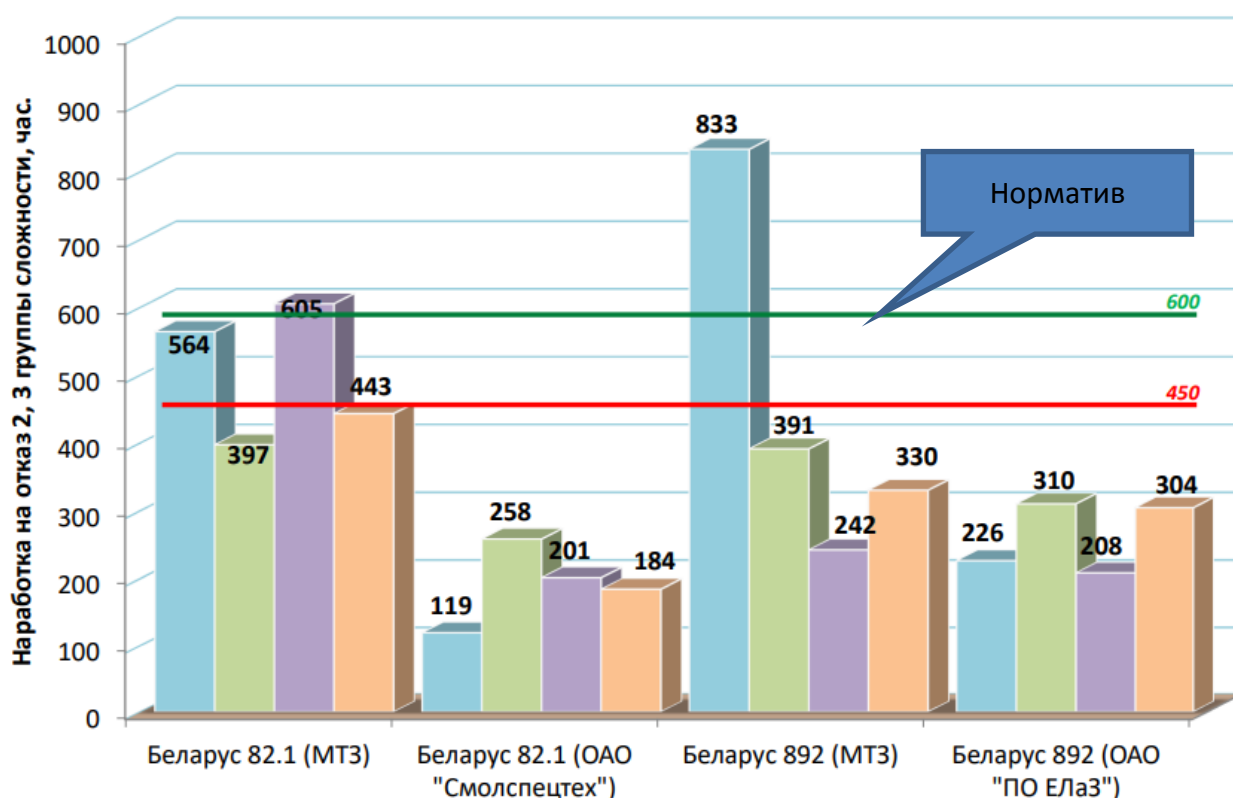


Рисунок 1.9 – Сравнительные показатели надежности тракторов по результатам мониторинга, проведенного МИС в условиях реальной эксплуатации

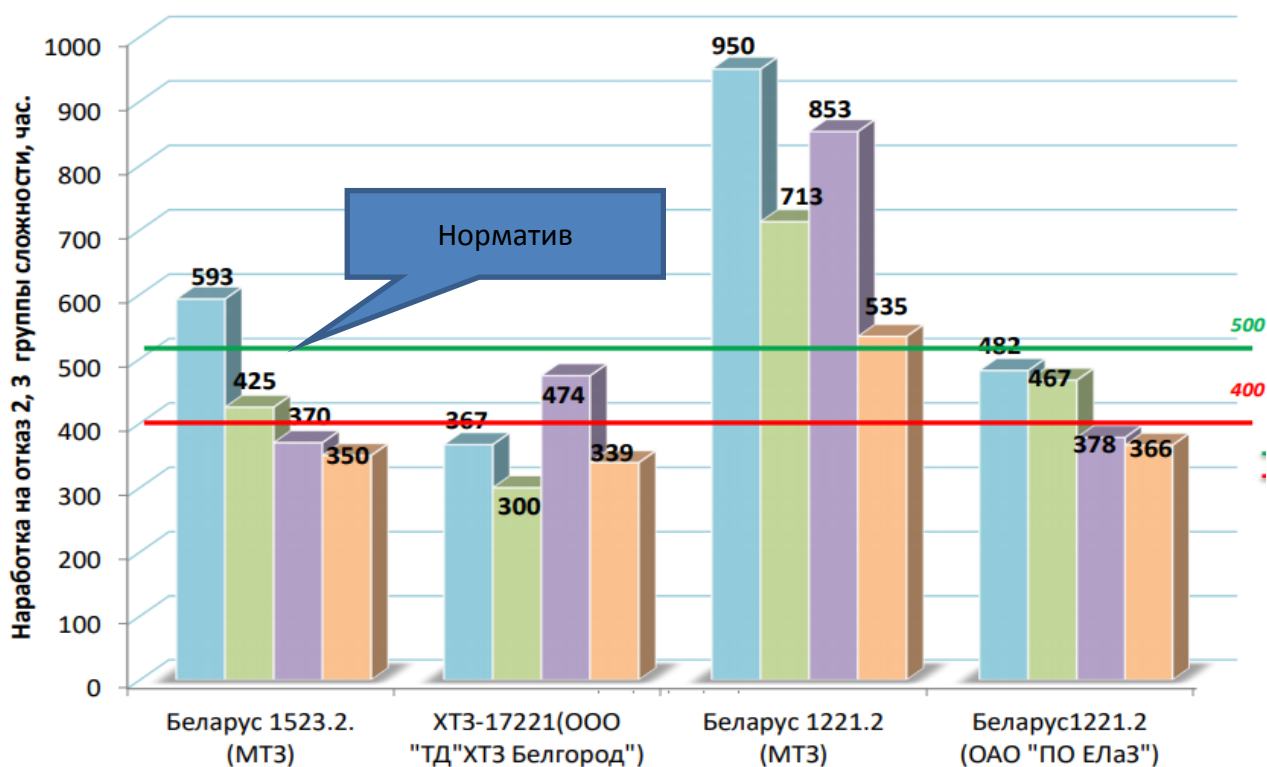


Рисунок 1.10 – Сравнительные показатели надежности тракторов по результатам мониторинга, проведенного МИС в условиях реальной эксплуатации

Вместе с тем, понятно, что в ближайшие годы в АПК РФ будет использоваться техника, которая в настоящее время эксплуатируется, и именно эта техника должна обеспечивать эффективную работу АПК РФ.

Анализ, проведенный ФГИС УСМТ системы технического сервиса в РФ показывает, что сформировалась устойчивая тенденция перевода основных объемов ремонтно-технических работ (ТО и ТР) непосредственно к товаропроизводителям сельскохозяйственной техники. Работы, которые выполняются инженерно-техническими службами (ИТС) сельхозпредприятий и составляющие 95-96 % из общего объема работ, сводятся к замене отдельных комплектующих агрегатов, узлов и деталей (в развитых странах эта величина составляет 60 – 65 %). Известно, что применение агрегатного метода ремонта приводит к увеличению издержек производства на ТО и ТР при увеличении среднего возраста сельскохозяйственной техники [26]. Происходят изменения и в структуре предприятий технического сервиса, складываются новые формы внутрихозяйственного обслуживания ре-

монтажно-техническими подразделениями и специализированными сервисными предприятиями (рисунок 1.11) [27].

Традиционно техническое обслуживание (ТО) сельскохозяйственной техники в АПК в большинстве случаев выполняется не на комплексных ремонтных предприятиях, а на специализированных сервисных и ремонтных предприятиях: станциях технического обслуживания (СТО), машинно-технологических станциях (МТС), ремонтных мастерских.

Расширение существующей сети машинно-технологических станций (МТС) как первичных предприятий по ТО и ремонту сельскохозяйственной техники, а также межхозяйственных предприятий нового типа, связанных с производителями техники и ведущих производство на базе новых методов и интенсивных технологий, будут стимулировать производство, снижать его убыточность на предприятиях отрасли. Формирование этих структур должно способствовать развитию научно-технического прогресса на предприятиях по ремонту сельскохозяйственной техники в АПК, увеличению показателей производительности труда и суточной выработки машинно-тракторных агрегатов, узлов и деталей, что может в какой-то степени компенсировать недостающую потребность в сельскохозяйственной технике в АПК: повысит производительность работ на 12...17 % и позволит снизить себестоимость производимых работ на 10...20 % [25].

Таким образом, основные факторы, определяющие принципы формирования современных структур по ремонту сельскохозяйственной техники это: сложное комплексное состояние качества, определяемое наличием необходимого ремонтно-технологического и диагностического оборудования, документации к ним, наличие квалифицированных кадров и т.д. Но создание эффективной системы технического сервиса сельскохозяйственной техники не может осуществляться директивным путём в условиях рыночной экономики.

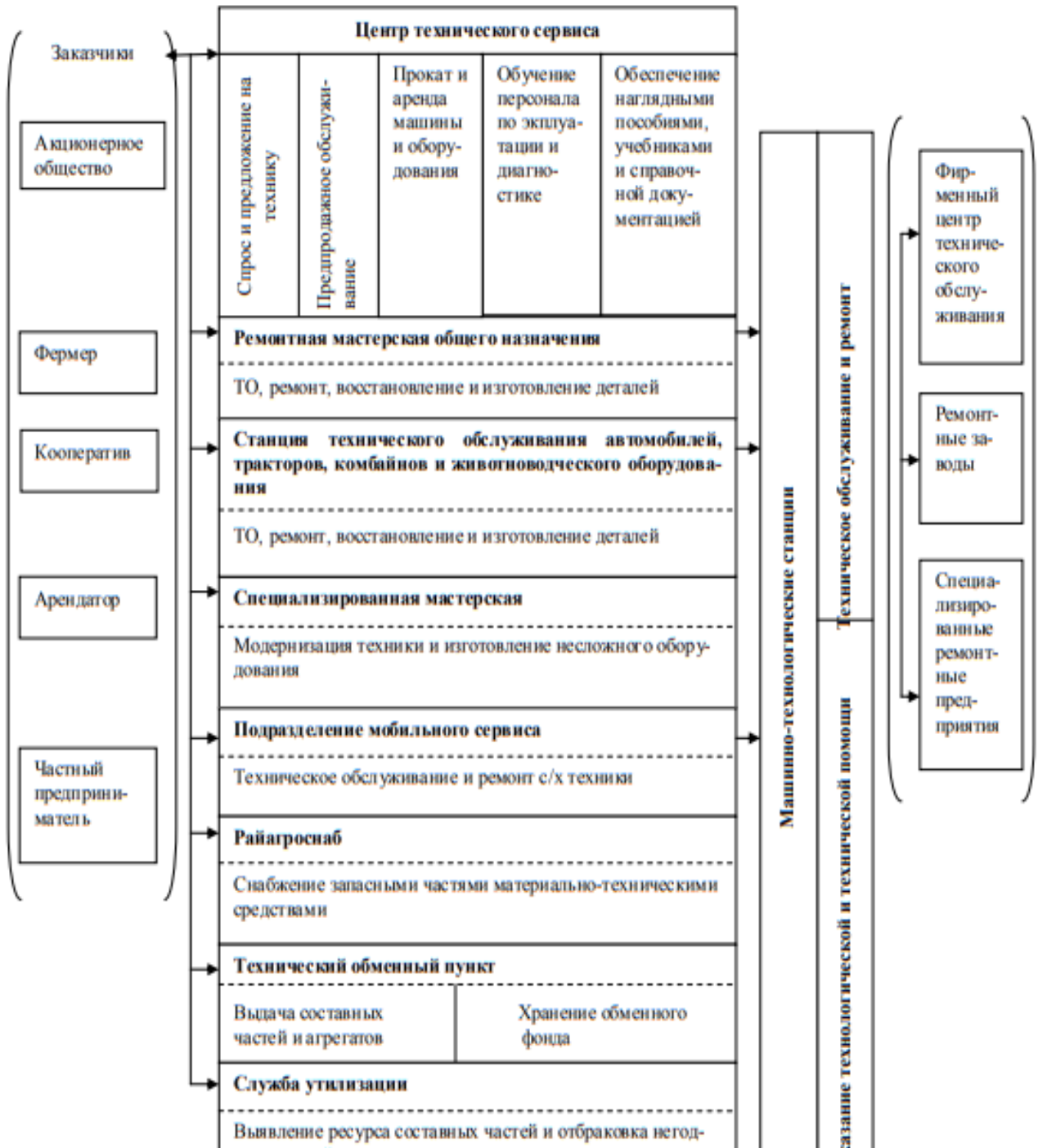


Рисунок 1.11 – Организационная структура технического сервиса сельскохозяйственной технике на районном уровне

Анализ современного опыта функционирования системы технического сервиса, отвечающих на ТО и ТР сельскохозяйственной техники за рубежом показывает, что основное значение для достижения наилучшего результата в экономически-нестабильной конкурентной среде определяется:

- 1) эффективностью применения технико-экономических моделей и методов оптимизации показателей использования производства по техническому сервису машинно-тракторного парка для обоснования производственных мощностей МТС и их структур по ТО и ремонту машин и оборудования [28].
- 2) эффективностью математических моделей, определяющих оптимальную возрастную структуру машинно-тракторного парка, влияющую на распределение необходимых производственных, энергетических и финансовых ресурсов в отрасли.
- 3) высоким уровнем надёжности машинно-тракторного парка и оборудования, эффективностью ресурсосбережения в сфере их использования, обеспечивающим высокие эксплуатационные показатели работы.

Важно отметить, что на первое место в иерархическом ряду задач по достижению экономических преимуществ отводится именно применению моделей и методов оптимизации показателей использования производства по техническому сервису машинно-тракторного парка для обоснования производственных мощностей МТС.

Важное значение за рубежом придаётся серьёзное значение вопросам организации ТО и ремонта, методам диагностирования, необходимости постоянного внедрения специализированного оборудования и разработке оптимальных форм и средств поддержания сельскохозяйственной техники в работоспособном состоянии. Наличие большого количества диагностических специализированных станций в США, Германии, Франции и Канаде позволило сократить возвращение отремонтированных машин после ТО на 90 %. При этом время обслуживания на специализированном оборудовании по ТО и диагностированию не превышает 1-го часа. Следует отметить, что методы и формы ТО и ремонта за рубежом различны:

- в Польше для ремонта и обслуживания техники используются передвижные мастерские «Техническая помощь».

- в Венгрии применяется временной принцип проведения ТО в соответствии с установленным графиком (как правило, ТО производится один раз в неделю с привлечением рабочих обслуживающего предприятия).
- в Германии ТО и техническое диагностирование (ТД) производят предприятия, объединённые в кооперативные бригадные станции и т.д.

Зарубежный опыт не может является определяющим, но является немаловажным фактором для выработки оптимальных стратегий в условиях модернизации системы производства технического сервиса АПК, поскольку удельный вес эксплуатируемого в РФ машинно-тракторного парка достаточно высок. На рисунке 1.12 приведены диаграммы, отражающие долю импортной техники в общем количестве сельскохозяйственной техники в РФ.

В США, Германии, Италии, Англии, Канаде и других странах с разветвленной системой обслуживания сельскохозяйственной техники вопросы проектирования, эффективной эксплуатации, количества и массовость выпуска техники отслеживаются в течение всего срока службы машин и оборудования. При этом вся полнота ответственности за обеспечение работоспособного состояния машины лежит на фирме-производителе через дилерские предприятия: диагностирование, техническое обслуживание, обеспечение запасными частями, проведение смазочных и заправочных работ и т.д. [29]. Например, в США существует около 7 тыс. дилерских предприятий, но определилась тенденция их укрупнения.

Суммарный объем реализуемых дилерских услуг составляет около 22 млрд. долл., то есть на 1 дилерский пункт приходится по 2,7 млн. долл. приходится, что значительно превышает аналогичные объёмы производства в РФ. Обобщая, можно сказать, что мировой опыт свидетельствует, что снижение себестоимости сельхозпродукции во многом зависит от эффективности комплекса услуг по техническому сервису [30]. Таким образом, при разработке методов совершенствования ремонтно-технической базы предприятий АПК в целях обеспечения работоспособности машинно-тракторного парка необходимо учитывать коренные изменения в подходах к организации процессов ТО и ТР в АПК.

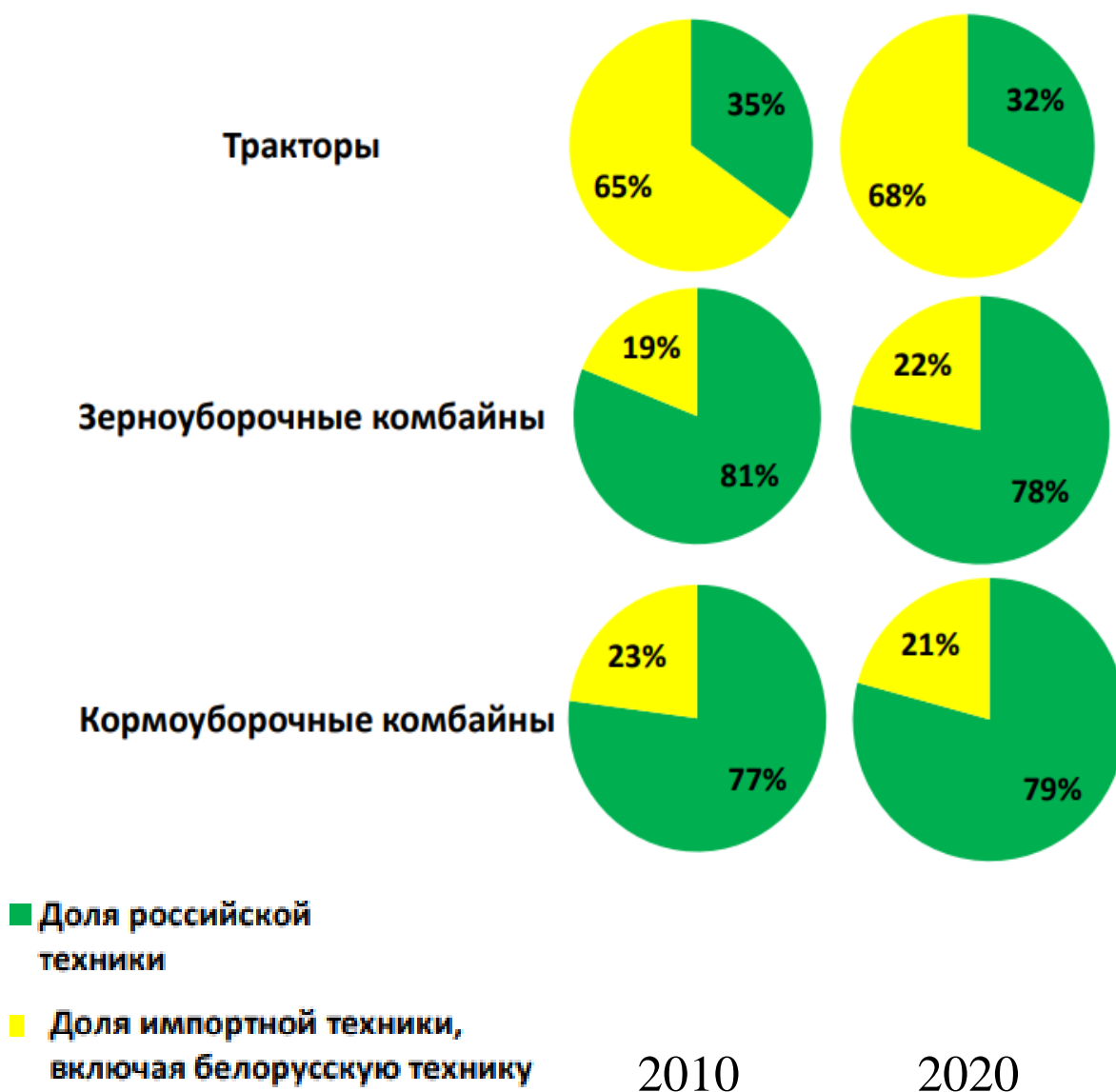


Рисунок 1.12 – Доля импортной техники в общем количестве сельскохозяйственной техники, %

Рассмотрим основные признаки, объясняющие необходимость изменений в организации и технологии проведения ремонтных работ в АПК. Используя терминологию системного подхода, можно определить, что признаки, это отдельные сегменты качества – отдельные свойства исследуемого процесса, которые обязательно учитывать при развитии сложной гетерогенной системы технического сервиса.

1. **Информационная составляющая.** Технологии ремонта становятся более сложными, поэтому возникает необходимость регулярного доступа к об-

ширной информации как по технологиям выполнения высококачественного ремонта, так и по соответствующему контрольно-диагностическому оборудованию.

2. **Организационная составляющая.** Эффективная стратегия системы ТО и ТР или технического сервиса сельскохозяйственных машин АПК должна иметь возможность объединять разобщенные ремонтные подразделения отдельных хозяйств, межхозяйственные специализированные ремонтные структуры и структуры фирменного сервисного обслуживания заводоизготовителей.
3. **Инновационная составляющая.** В основу системы повышения качества ремонтных работ должны быть положены новые технологии ремонта, обеспеченные оснащением ремонтных предприятий современным высокоточным оборудованием, технологической оснасткой, соответствующе нормативно-технической документацией.
4. **Кадровая составляющая.** Формирование и развитие новой системы технического сервиса требует создания системы информационного и кадрового обеспечения ИТС. Профессиональные кадры системы технического сервиса в сельском хозяйстве должны быть высококвалифицированными, владеющими как классическими знаниями ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники, так и современными навыками работы с компьютерной техникой, навыками электронного диагностирования и т.д. Причём данные требования будут актуализоваться по мере насыщения АПК высокопроизводительной техникой как отечественного, так и импортного производства.

Перечисленные признаки должны учитываться при разработке новых методов управления производством технического сервиса сельскохозяйственной техники в целях повышения её эффективности эксплуатации. Одной из подсистем управления процессами производства технического сервиса является – методология управления возрастной структурой парка техники. Исходя из приведённых выше данных вопрос эффективного управления возрастной структурой парка

сельскохозяйственной техникой в условиях его модернизации в РФ является актуальным.

Для формирования методического обеспечения управления возрастной структурой парка в настоящее время разработаны апробированные временем практические рекомендации [31, 32 и т.д.] с учётом наших комментариев.

1) Возрастная структура машинно-тракторного парка (ВСТП) оказывает серьёзное влияние на результативные показатели работы парка транспортно-технологических машин через показатели использования и поэтому является объектом анализа и управления инженерно-технической службы (ИТС), которая обязана разрабатывать предложения по ее эффективному управлению. Достоверный прогноз необходимых изменений в возрастной структуре необходимо производить регулярно и в соответствии с рекомендациями – ежегодно, как минимум, раз в полгода. В случае изменения условий эксплуатации машинно-тракторного парка во внутрихозяйственных расчетах возрастные группы следует формировать с меньшим шагом (квартал, полгода, месяц). То есть, под интервалом приведения возрастных показателей подразумевается некоторый дискретный шаг и речь идёт только о его величине.

2) Прогнозирование изменений ВСТП зависит от структуры парка на момент начала процедуры управления, определённых темпов пополнения и списания технических средств, а также от принятого или рассчитанного оптимального срока службы транспортно-технологических машин. Поэтому применительно к процедуре управления ВСТП невозможно планирование изменений по некоторому достигнутому уровню, например, в зависимости от величины списания за предыдущий период. К сожалению, именно такой подход применяется, как правило, для упрощения процессов управления ВСТП в большинстве предприятий в силу сложившихся экономических причин. Естественно, что, регулируя таким образом пополнение и списание парка, невозможно получить необходимую эффективную возрастную структуру с заданными целевыми показателями.

3) В разные временные периоды эксплуатации (существования) парков техники их эксплуатационные характеристики могут быть различными, то есть для выполнения равноценной эксплуатационной нагрузки величина количественного со-

става парков техники может изменяться. Таким образом при выполнении равноценной эксплуатационной нагрузки количественная парка техники в случае его старения должна увеличиваться. Более того в настоящее время актуализируется вопрос не только о количественных характеристиках эксплуатационной нагрузки, но и её качественных составляющих, которые сегодня могут иметь различное целеполагание.

4) Установлено и неоднократно доказано в специальной литературе, что увеличение продолжительности сроков службы техники до её списания без изменения показателей надёжности неизбежно влечёт за собой существенное ухудшение результативных технико-экономических показателей парка техники: снижению производительности единицы техники, сокращению доходов, снижению величины коэффициента технической готовности (КТГ) и коэффициента использования (КТИ), увеличению потребности в производительных силах предприятия, потребности в запасных частях, увеличению необходимой мощности ПТБ. В случае общего старения парка техники происходят неизбежные изменения не только количественных показателей работы техники, но и снижаются качественные показатели работы предприятия в целом: увеличивается нагрузка на службу материально-технического снабжения, так расширяется необходимая номенклатура материалов и запасных частей; возникает потребность в проведении новых видов работ по обслуживанию техники, увеличивается потребность в оборудовании, повышаются требования к качеству проведения работ и профессиональной подготовке персонала. Существенно могут ухудшаться не только комплексные свойства надёжности техники, но и необходимые в условиях конкурентных рыночных отношений свойства, непосредственно не определяемые надёжностью: комфортабельность, внешний вид, экологичность и др. Более того, современные исследования подтверждают необходимость учета таких показателей как экологичность, комфортабельность, безопасность эксплуатации техники в виде отдельных свойств, так как в современной технике за каждое из перечисленных свойств отвечают отдельные и всё более не влияющие на комплексное свойства надёжности группы систем, агрегатов и узлов [33]

5) Устойчивого и существенного повышения количественных характеристик показателей работы парка техники можно добиться его омоложением, то есть свое-

временным и обоснованным списанием единиц техники, выработавших свой ресурс. Отдельные, вне рамок общего целеполагания управления ВСМТП поставки единиц новой техники приводят только к незначительному и временному повышению показателей использования парка, а затем происходит резкое ухудшение показателей парка. Вместе с тем, увеличение темпа омоложения парка техники обеспечивает интенсивность обновления технологий, но является ресурсоемким мероприятием. То есть задача эффективного управления ВСМТП всегда является оптимизационной, требующей применения для решения адекватного математического инструментария.

1.3 Анализ актуальных требований к современной модели управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники

Структурируем основные актуальные требования, определяемые развитием ситуаций внешней среды эксплуатации сельскохозяйственной техники, к методике управления возрастной структурой машинно-тракторного парка.

Развитие новых форм организации производства технического сервиса (ТС). Основными особенностями организации и технологии ТС характеризуются внедрением элементов фирменного ремонта:

1. Ремонт техники выполняется агрегатно-узловым методом, содержание которого следующие: ремонт техники осуществляется на базе готовых агрегатов (отремонтированных или новых); ремонт агрегатов осуществляется на базе готовых деталей и узлов; восстановительный ремонт отдельных деталей возможен в специализированных мастерских, как правило, производящих отдельные виды технологических операций (расточивание, гальванопокрытия, шлифование и т. д.).
2. Выполнение функций ТС осуществляется официальными дилерами фирм-производителей сельскохозяйственной техники на базе станций технического обслуживания (СТО)

3. Выполнение работ по ТО сельскохозяйственной техники осуществляется в соответствии с регламентами устанавливаемыми фирмами-производителями.
4. Наличие разветвлённой сети СТО фирм-производителей, принадлежащих независимым предпринимателям.

Перечисленные особенности создают основу конкуренции на рынке ТО, чем определяют высокое качество работы, требующее хорошего технического оснащения, наличия профессионализма персонала и т.д. Как правило, каждая фирма-производитель отдельного вида техники занимает определённую нишу на рынке услуг ТС, а регламенты ТО имеют индивидуальные особенности [34, 35].

Перечисленные особенности ТС требуют изменений в определении основных показателей производственной программы по ТО и ТР сельскохозяйственной техники. Поскольку организация фирменного ремонта имеет специфические условия, определяемые регламентами фирм-производителей техники:

1. Полнокомплектный капитальный (КР) не производится из-за экономической нецелесообразности, поэтому этот вид технического воздействия нельзя учитывать при определении величины показателей производственной программы по ТО и ТР.
2. Для конструкций сельскохозяйственной техники, разработанной за рубежом норматив удельная трудоёмкость ТР не регламентирован. Специфические условия эксплуатации сельскохозяйственной техники учитываются (условия эксплуатации; климатический район), для каждой модели отдельно посредством изменения величины цикла ТО.
3. Показатели удельная трудоёмкость ТР (чел·час. /100 м·ч) и дни простоя в ТО и ТР (дн./ 100 м·ч) не регламентированы и их расчёт не производится.

Таким образом, усложняется задача достоверной оценки величины традиционных показателей КТГ и КТИ необходимых в управлении ВСП. В ряде исследований приведены методики, позволяющие решать данную задачу [36] на базе циклового метода расчёта производственной программы по ТО и ТР. В качестве расчётного цикла принимается величина ТО.

Формула определения показателя удельная трудоёмкость ТР (чел·час/100) в пределах цикла ТО выглядит следующим образом (чел·час/100):

$$T_{TPu} = \frac{\sum_{k=1}^{p_u} t_{TPku}}{\Delta L_u} \cdot 100, \text{ чел·час/ 100 м·ч} \quad (1.1)$$

или

$$T_{TPu} = \frac{10^2}{L_{Цj}^{TO}} \cdot \sum_{k=1}^{n_u} t_{TPku}, \text{ чел·час/ 100 м·ч} \quad (1.2)$$

где p – количество мероприятий ТР за установленный производителем цикл ТО;

u – номер цикла ТО с начала эксплуатации ТО;

$L_{Цj}^{TO}$ – пробег за цикл ТО;

t_{TPku} – трудоёмкость восстановления объекта по отдельному отказу (чел. час.)

Величина среднего значения показателя удельная трудоёмкость ТР, на некотором времени определяется по формуле:

$$\bar{T}_{TP} = \frac{\sum_{u=1}^v T_{TPu}}{m}, \text{ чел·час/100 м·ч} \quad (1.3)$$

или

$$\bar{T}_{TP} = \frac{1}{v} \cdot \sum_{u=1}^v T_{TPu}, \text{ чел·час/100 м·ч} \quad (1.4)$$

где v – суммарное количество циклов ТО в пределах исследуемого интервала времени или пробега, ед.

Преобразуя формулы (1.3) и (1.4) получают:

$$\bar{T}_{TP} = \frac{10^2}{v} \cdot \sum_{u=1}^v \sum_{k=1}^p \frac{t_{TPkj}}{L_{Цu}^{TO}} \cdot \text{чел·час/100 м·ч} \quad (1.5)$$

В случае применения формулы (1.5) для однотипной техники, когда величина: $L_{Ц}^{TO} = const$:

$$\bar{T}_{TP} = \frac{10^2}{v L_{Ц}^{TO}} \cdot \sum_{u=1}^v \sum_{k=1}^p t_{TPku} \cdot \text{чел·час/100 м·ч} \quad (1.6)$$

Тогда значение цикловой удельной трудоемкости показателя ТР для всех однотипных объектов определяется по формуле:

$$t_{Lj}^{TP} = T_{TPu} (t_u^{TP}) \cdot A_j^{СП}, \text{ чел·час} \quad (1.7)$$

где $A_j^{СП}$ – списочное количество единиц техники одной модели, ед.

Если необходимо определить годовой объем работ по ТР переходят от цикла к году. В этом случае цикловая удельная за год по отдельным единицам техники определяется по формуле:

$$t_{Гj}^{TP} = t_{Lj}^{TP} \cdot \eta_j^{Ц}, \text{ чел·час} \quad (1.8)$$

$\eta_j^{Ц}$ – расчётный коэффициент перехода от цикла к году

Тогда величина годового объема работ ТР по каждой и модели техники:

$$t_j^{TP} = \frac{L_{Гj} \cdot t_{Гj}^{TP}}{100}, \text{ чел·час.} \quad (1.9)$$

Следовательно, величина годового объема работ по ТР для всех единиц техники каждой модели определяются по формуле:

$$t_j^{TP} = \frac{L_{Гj} \cdot A_j^{СП} \cdot T_{TPj}}{100}, \text{ чел·час.} \quad (1.10)$$

Далее определяется КТИ и значение реализуемого показателя качества отдельных моделей техники в пределах одной возрастной группы. Но определять значение реализуемого показателя качества только комплексными показателями надёжности сегодня уже недостаточно. Необходимо в рамках разработки методики управления ВСП учитывать значения потребительских свойств сельскохозяйственной техники.

Актуальность обеспечения требования обеспечения потребительских свойств сельскохозяйственной техники определяется рядом документов, принятых Правительством РФ [37]. Отразим эти документы в виде схем на рисунке 1.13.

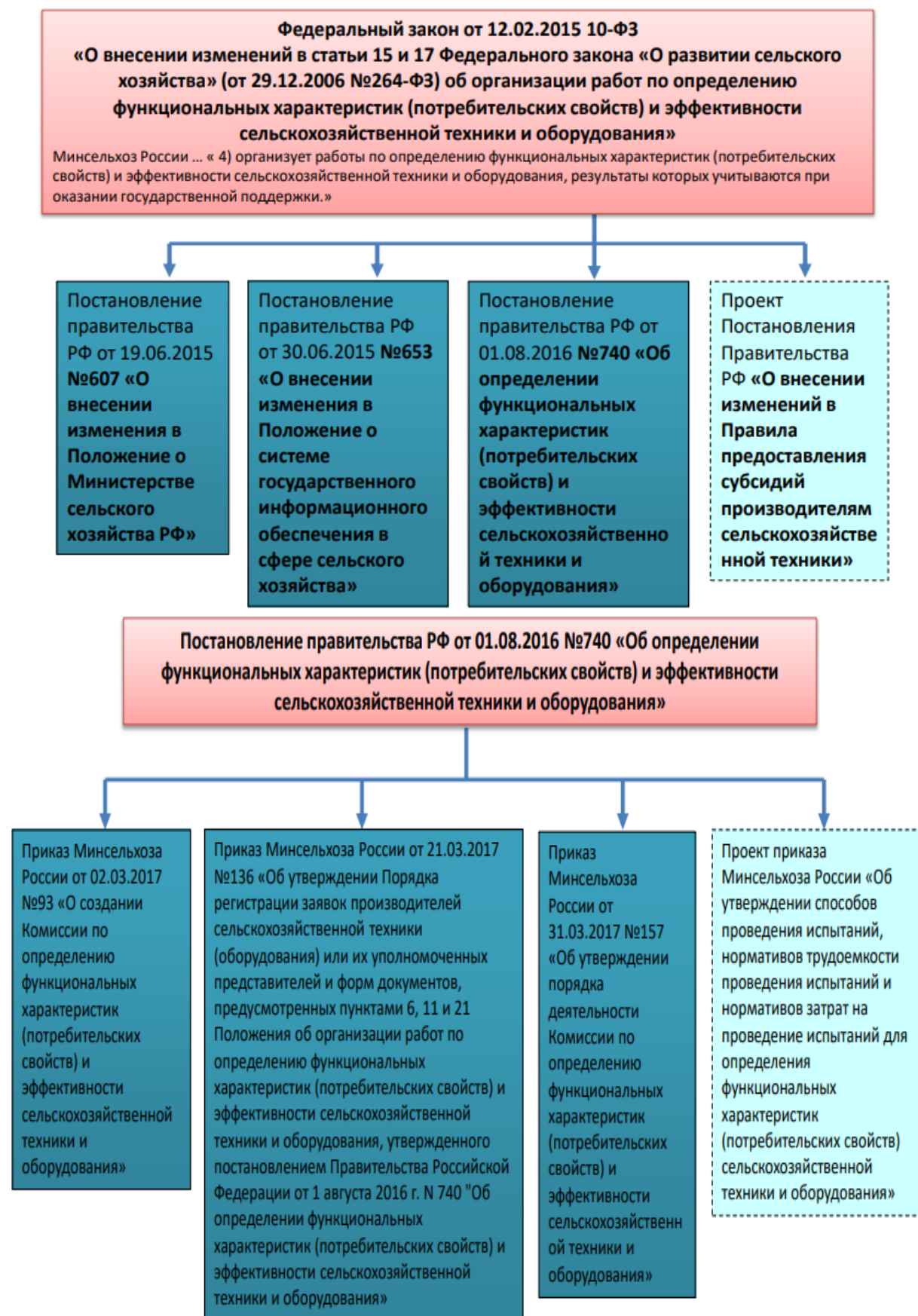


Рисунок 1.13 – Нормативно-правовое обеспечение проведения испытаний с целью определения потребительских свойств сельскохозяйственной техники

В приложении А приводится перечень нормативных критериев в соответствии с «Перечень критериев определения функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования (утв. постановлением Правительства РФ от 1 августа 2016 г. № 740) [40]. Однако с математической точки зрения перечисленные значения нельзя однозначно определять, как «критерии», это перечисление ряда технических показателей, агрегированных по видам сельскохозяйственной техники. Но, тем не менее они подтверждают тезис о необходимости учитывать при формировании структуры машинно-тракторного парка не только показатели технической надёжности [39, 40, 11], но и ряд показателей, отражающих эксплуатационные свойства сельскохозяйственной техники.

Приведём результаты испытаний сельскохозяйственной техники, подпадающей под действие постановления Правительства РФ № 1432 в 2020 году на рисунках 1.14

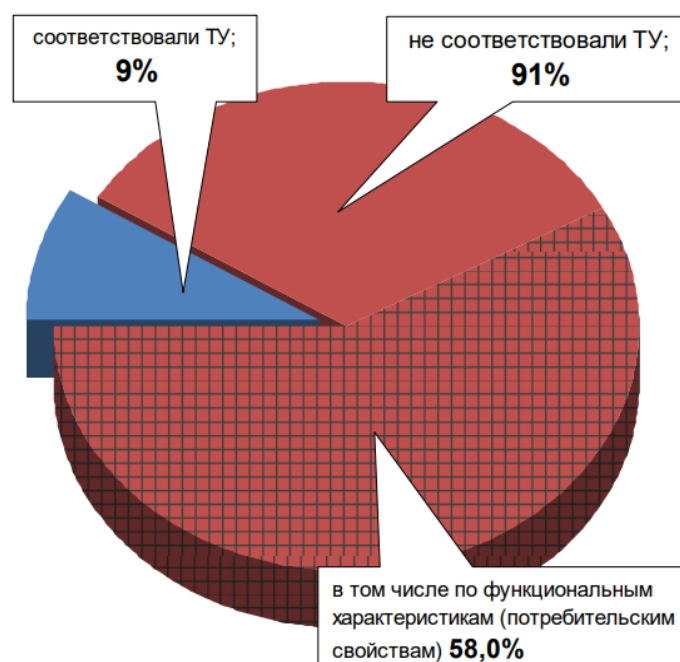


Рисунок 1.14– Результаты испытаний сельскохозяйственной техники, подпадающей под действие постановления Правительства РФ № 1432

В исследовании [44] приводится более структурированная система потребительских свойств сельскохозяйственной техники в виде отдельных критериев,

учитывающих отдельные целеполагания в рамках общей концепции эксплуатации сельскохозяйственной техники (приложение Б). Потребительские свойства трактора дифференцируют в три группы:

- 1) приспособленность сельскохозяйственной техники к соблюдению требований технологических операций, определяемых условиями работы (агротехнические);
- 2) производительность и экономичность работы сельскохозяйственной техники (технико-экономические);
- 3) безопасность и комфорт водителя (общетехнические).

В ряде исследований отмечается, что помимо потребительских свойств, расширяются требования к функциональным возможностям машинно-тракторного парка, которые определяются его составом и структурой. Состав и структура парка должна соответствовать специфическим условиям применения, а именно: возможным объёмам и срокам выполнения работ, оптимальному сочетанию агротехнических сроков выполнения технологических операций, учитывающими климатические и географические факторы и, естественно, увеличение затрат на содержание парка, учитывающие перечисленные факторы. Поэтому делается закономерный вывод о том, что для оптимизации структуры и состава машинно-тракторного парка сельскохозяйственной техники должны быть применены методы экономико-математического моделирования [43, 44].

Приведём основные положения предлагаемой математической модели оптимизации структуры машинно-тракторного парка, содержащую ряд ограничений, соблюдая авторскую редакцию [45].

Необходимо найти состав (число) единиц техники X_{ijkf} при с следующих ограничениях

- должно соблюдаться выполнение целесообразных агротехнических сроков при выполнении транспортных, технологических и вспомогательных операциях;

- должен соблюдаться непрерывность в цикле при выполнении технологических операций в пределах одного срока;
- должны соблюдаться ряд ограничений при согласовании технологических операций [45].

Тогда формализованное требование к выполнению объёмов работ выглядит следующим образом:

$$\sum_i^n X_{ikf} W_{ijk} \geq b_{ikf} ; i = \bar{1}, \bar{2}, \dots, \bar{I} , k = \bar{1}, \bar{2}, \dots, \bar{N} \quad (1.11)$$

Далее вводится ограничение «разового и суммарного воздействия на экологическую сферу» [45]

$$\sum_{j=1}^n X_{ijkf} W_{ijk} = a_1 \sum_{j=1}^n X_{2jkf} = \dots = a_{m-1} \sum_{j=1}^n X_{ijnf} W_{iju} \quad (1.12)$$

где $i = \bar{1}, \bar{2}, \dots, \bar{M} , k = \bar{1}, \bar{2}, \dots, \bar{N} , f = \bar{1}, \bar{2}, \dots, \bar{F}$

Далее вводится ограничения не отрицательности переменных [45]

$$\sum_{j=1}^n X_{ijkf} W_{ijk} = a_1 \sum_{j=1}^n X_{2jkf} = \dots = a_{m-1} \sum_{j=1}^n X_{ijnf} W_{iju} \quad (1.13)$$

где: X_j – число единиц техники j -го типа в составе парка;

X_{ikf} – число единиц техники j -го типа, применяемых для i -ой операции в k -ый интервал времени;

W_{ijk} – производительность единицы техники j -го типа на i -ой операции в k -ый интервал времени;

b_{ikf} – объем работ по i -ой операции в k -ый интервал времени при обработке f -ой культуры;

a_m – коэффициент, согласовывающий технологический операции (взаимосвязанность работ);

l_{ijr} – число агрегатов единиц техники, r -го типа, входящих в состав j -ой единицы техники при выполнении i -ой операции;

I – число учитываемых типов единиц техники;

K – число рассматриваемых интервалов времени в годовом цикле работ;

J - число учитываемых операций;

N - число вариантов типовых погодных условий [45].

Оптимизируемый критерий это минимум совокупных затрат, включающий в себя:

- затраты на покупку и содержание машинно-тракторного парка [45]:

$$X_j \geq \sum_{i=1}^I \sum_r^R X_{jkn} \lambda_{jr} ; j=1, 2, \dots, J; k=1, 2, \dots, K; n=1, 2, \dots, N \quad (1.14)$$

где C_j – затраты на приобретение и содержание сельскохозяйственной техники j -го типа (включая норматив эффективности капитальных затрат в пересчёте на N годовых циклов по содержанию работ;

- эксплуатационные (прямые) затраты, связанные с выполнением операций по обработке сельскохозяйственных культур [45]:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^N \xi_{mir} x_{irkn} b^{-1} \leq S_m \quad m=1, 2, \dots, M \quad (1.15)$$

где C_{ir} – эксплуатационные затраты связанные с единицей объема выполняемых работ по i -той технологической операции, j -того типа за в течение одного часа работы;

P_{irkn} – общий объем выполняемых работ.

- экономическая оценка возможных экологических нарушений (невосполнимых) при эксплуатации отдельных типов машин [45]:

$$X_{ijkf} \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, J; k=1, 2, \dots, N; f=1, 2, \dots, F \quad (1.16)$$

где U_{ij} – неизбежное снижение урожая при эксплуатации на возделывании культуры машин j -того типа в течение t -количества, лет;

R_i – цена единицы продукции урожая одной культуры;

n_j – число единиц техники j -го типа при определении состава машинно-тракторного парка в приведении к 1000 га обрабатываемой земли;

x_1 – коэффициент, учитывающий объемы одной культуры в общей структуре площадей;

\bar{C}_j – коэффициент, учитывающие различную интенсивность эксплуатации единиц техники определенных типов.

- величина потери части урожая одной культуры из-за использования единиц техники с определенными экологическими отклонениями [45];

$$L_1 \geq \sum_{i=1}^I C_j X_j \quad (1.17)$$

$$L_3 \geq \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \bar{C}_{ij} X_{ij}; t = 1, 2, \dots, T \quad (1.18)$$

$$\bar{C}_j = 100 \sum_{l=1}^L R_l U_{lj} \xi_l \cdot 100 (\ln_j)^{-1} \quad (1.19)$$

$$L_4 = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^I \sum_{r=1}^I \sum_{n=1}^I \bar{C}_{ir} X_{irkn} P_{irkn} \quad (1.20)$$

где \bar{C}_j - цена потерь части урожая определенной культуры, при выполнении единицы объема работ по i -той операции j -ой единицы техники;

P_i - цена стоимость единицы продукции по одной культуре.

Тогда функционал оптимизационной задачи:

$$L_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^I \sum_{r=1}^I \sum_{n=1}^I \bar{C}_{ir} X_{irkn} P_{irkn} \quad (1.21)$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \rightarrow \min \quad (1.22)$$

В постановке задачи есть ряд неточностей, в частности исходя из установленного целеполагания функционал (1.22) лучше свести к системе уравнений, тогда решение приведённой оптимизационной решению системы линейных уравнений (методы линейного программирования).

Анализ актуальных требований к современной модели управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники показал, что существующие методики управления ВСП требуют уточнения исходя из необходимости:

- 1) соответствовать современным требованиям нормативно-правовой базе
- 2) соответствовать уровню развития конструкции сельскохозяйственной техники и методов её ТО и ремонта.
- 3) применения экономико-математических методов решения оптимизационных задач для достоверной оценки эксплуатационных свойств по нескольким критериям эффективности.

Тогда цель и задачи исследования можно обоснованно сформулировать следующим образом:

Цель исследования – разработка методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка с учетом потребительских свойств транспортно-технологических машин, определяемой дискретной математической моделью изменения номенклатуры показателей ТО и ТР.

Задачи исследования:

1. Анализ современной возрастной структуры и обоснование необходимости регулирования процессов управления возрастной структурой машинно-тракторного парка предприятий АПК.
2. Определение соответствия методологической базы управления возрастной структурой машинно-тракторного парка предприятий АПК актуальным требованиям научно-технического прогресса и условиям функционирования.
3. Разработка научных подходов управления возрастной структурой на основе математической модели дискретных зависимостей изменения технического состояния машинно-тракторного парка предприятий АПК.
4. Разработка математической модели представления в дискретной форме показателей удельной трудоёмкости ТО и ТР (чел.-ч / 100 м·ч) и коэффициента технического использования транспортно-технологических машин предприятий АПК, позволяющей уточнить методику управления возрастной структурой парка с учетом потребительских свойств.
5. Разработка алгоритма, автоматизирующего процесс процедуру управления возрастной структуры машинно-тракторного парка на базе оперативного анализа показателей ТО и ТР, представленных в виде дискретных зависимостей изменения в процессе эксплуатации.
6. Технико-экономическая оценка применения разработанной методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка.

Выводы по первой главе

Выполненный в первой главе анализ динамики изменения и актуальных требований к возрастной структуре парка сельскохозяйственной техники показал необходимость уточнений в применяемой в настоящее время методике управления возрастной структурой парка.

1. Более двух третей отечественных тракторов, комбайнов и автомобилей в отрасли эксплуатируются уже более десяти лет. Фактически, многие хозяйства эксплуатируют технику, которую при упомянутой нагрузке давно пора заменить новой. В итоге – ежегодные потери урожая по данной причине составляют от 10 до 15%, а требуемые сегодня объемы приобретения сельскохозяйственной техники существенно превышают существующие возможности ее производства.
2. Изменение среднего возраста машинно-тракторных парков во времени должны носить монотонный колебательный характер, отражающий дисбаланс поставок и списания техники, а также изменение фактических сроков эксплуатации (службы).
3. Происходят изменения и в структуре предприятий технического сервиса, складываются новые формы внутрихозяйственного обслуживания ремонтно-техническими подразделениями и специализированными сервисными предприятиями. Таким образом, усложняется задача достоверной оценки величины традиционных показателей КТГ и КТИ необходимых в управлении ВСМТП
4. Сегодня определение КТГ и КТИ служит методологической основой для определения реализуемого показателя качества отдельных моделей техники в пределах одной возрастной группы. Но определять значение реализуемого показателя качества только комплексными показателями надёжности сегодня уже недостаточно. Необходимо в рамках разработки методики управления ВСМТП учитывать значения потребительских свойств сельскохозяйственной техники.

5. Выбор наиболее эффективного варианта использования машинно-тракторного парка применительно к конкретным условиям эксплуатации с учетом реальных объемов и сложившейся возрастной структуры парка является сложной оптимизационной задачей, в которой важное значение имеет величина рационального срока службы техники.

Таким образом применяемые сегодня методики управления ВСМТП базируются на устаревших нормативно-технических документах и не могут в полной мере соответствовать существующему разнообразию форм организации процессов ТО и ТР и увеличению значимости факторов потребительских свойств и качеств машинно-тракторного парка. Решение проблемы состоит в разработке методики, позволяющей обеспечить научно обоснованные размеры текущего обновления парков транспортно-технологических машин сельскохозяйственной техники применяя методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка адаптированные к современным условиям его эксплуатации.

2. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

2.1 Модели определения показателей при организации систем управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники

Методы управления возрастной структурой парка зависят от принятого расчёта способа поставки и списания единиц техники. Различают два основных способа расчёта ВСМПТ.

Дискретное списание - по достижении единицей техники, принятого или установленного на данном предприятии значения наработки (продолжительности эксплуатации) происходит вывод из эксплуатации или списание единицы техники вне зависимости от показателей его работы или технического состояния. Данная схема применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации [46].

Метод **случайного списания** определяется вариацией фактической наработки единиц техники до её списания. По данной схеме списание единицы техники производится на основании регулярного контроля за необходимыми технико-эксплуатационными показателями работы, например, по накопленному расходу запасных частей, по уменьшения производительности работы, по сокращению прибыли и т.д. Нередко в рыночных условиях для сокращения больших разовых инвестиций для омоложения парка эксплуатируемой техники применяют различные схемы финансирования данного процесса [46, 47, 48].

Ранее уже отмечалось значительное влияние на (пробега, времени) наработки с начала эксплуатации единицы техники на показатели эффективности и надежность транспортно-технологических машин. Системой ТО и ремонта

предусматривается корректирование показателей трудоёмкости ТО и текущего ремонта, продолжительности простоя в ТР в зависимости момента от с начала эксплуатации. Поэтому необходимо достоверно оценивать и управлять возрастом техники в парке.

Рассмотрим методику расчёта ВСП по методу **дискретного списания**. В реальном парке, как правило, имеются единицы техники различных возрастных групп т.е. парк имеет определённую возрастную структуру. Под ВСП понимается процентное или количественное распределение машинно-тракторного парка по возрастным группам (рисунок 2.1).

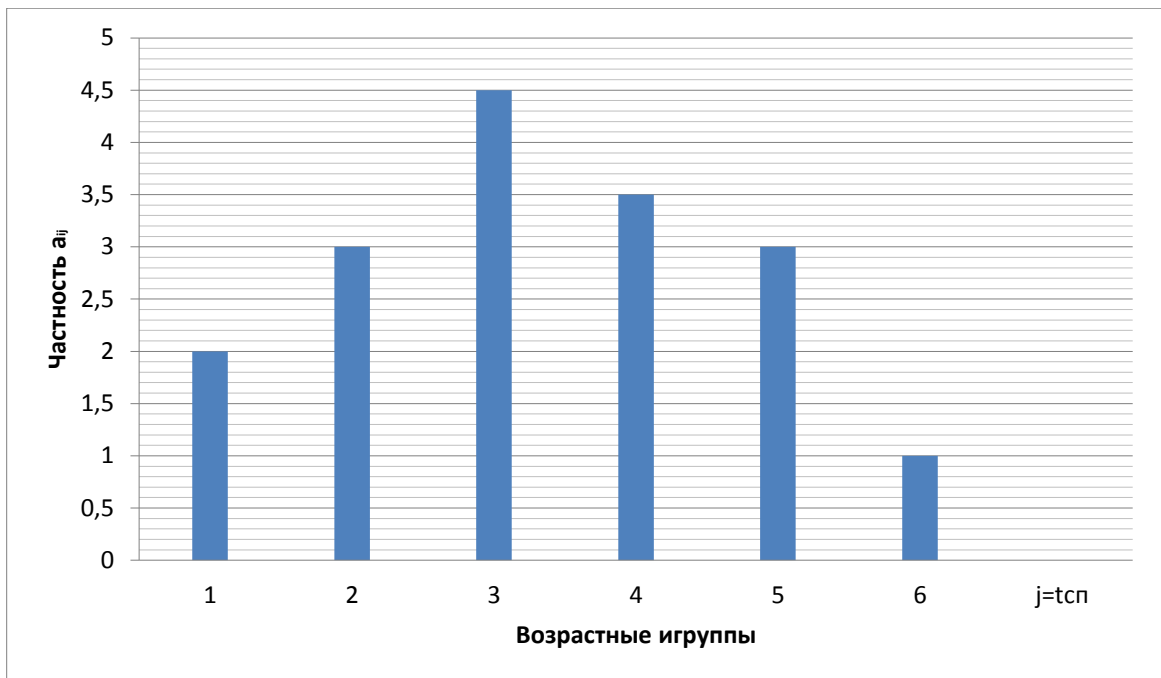


Рисунок 2.1 – Пример распределения машинно-тракторного парка по возрастным группам

Доля (или %) техники определённой возрастной группы в парке в момент времени i определяется по формуле:

$$a_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_i} \text{ при } \sum_{j=1}^j a_{ij} = 1 \quad (2.1)$$

где A_{ij} – число единиц техники j -ой возрастной группы в определённый момент i ;

A_i – размер МТП в момент i , который является календарным временем существования парка техники данной модели, определяемой в годах (месяцах) или эквивалентных единицах наработки.

Реализуемый показатель качества для парка с определяется с учётом возрастной структуры в момент времени i :

$$\bar{\Pi}_i = \sum_{j=1}^{j=t_{\text{сп}}} \Pi_j a_{ij} \quad (2.1)$$

где Π_j – значение показателя качества единицы техники в определённый момент времени:

При определённых значениях Π_j и $j = t_{\text{сп}} = \text{const}$ значение реализуемого показателя качества для единицы техники постоянно (рисунок 2.2), а, для совокупного парка $\bar{\Pi} = \text{const}$ только в определённый момент времени i и является функцией возрастной структуры.

$$\bar{\Pi} = \sum_{j=1}^{j=t_{\text{сп}}} \Pi_j / t_{\text{сп}} = \text{const} \quad (2.2)$$

где $t_{\text{сп}}$ - момент списания единицы техники.

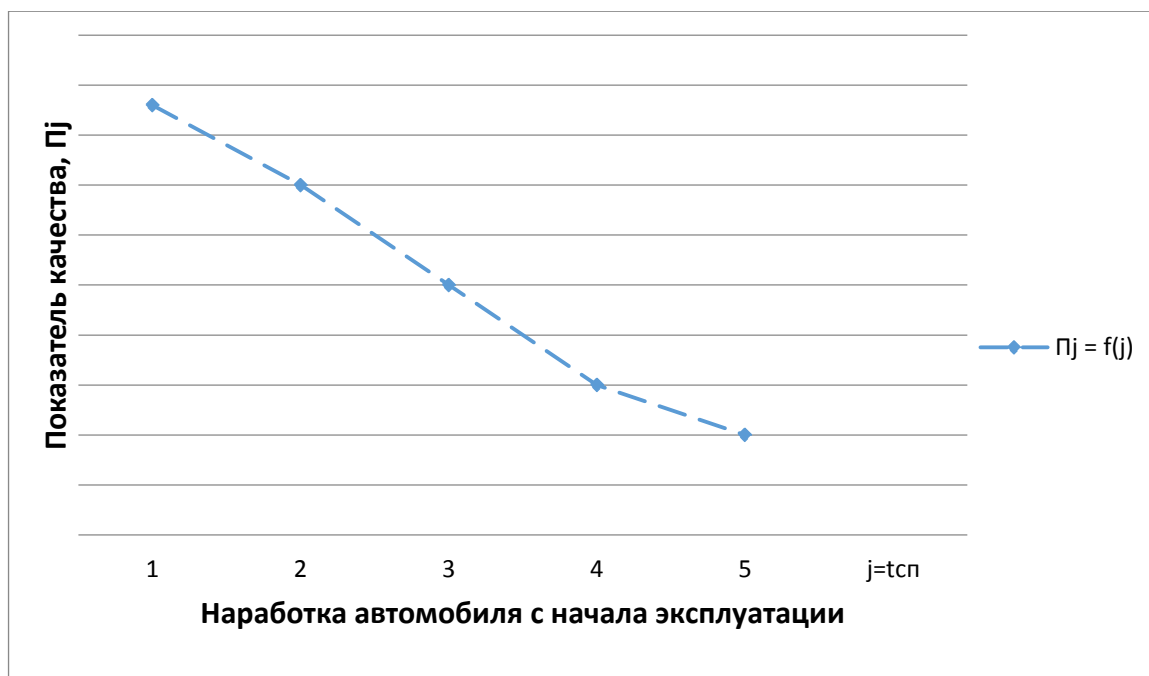


Рисунок 2.2 – Изменение значения показателя качества единицы техники в зависимости от наработки с начала эксплуатации

Кроме распределения парка техники по возрастным группам, возрастную структуру парка техники определяет средний возраст \bar{T}_i , который в определённый момент времени i

$$\bar{T}_i = \sum_{j=1}^j T_j a_{ij}, \quad (2.3)$$

где T_j – соответствует середине интервала j -ой возрастной группе.

Как правило, изменение среднего возраста единиц техники крупных парков во времени носят монотонный колебательный характер и отражает дисбаланс списания и поставок техники. Средний возраст и ВСП в этом случае достаточно стабильны, но небольших сельскохозяйственных предприятий этот показатель может существенно изменяться за относительно небольшие интервалы времени. Что, естественно, отражается на технико-экономических показателях эффективности работы парка техники в целом [49].

Под управлением возрастной структурой парка понимается также понимают целенаправленное её изменение, позволяющие обеспечивать получение в нужный момент времени i установленных и необходимых показателей качества единиц техники \bar{P}_i . Поэтому задачи прогнозирования, управления и расчёта, ВСП должна решаться с применением аппарата методов динамического программирования, комбинаторики, теории восстановления и др.

Исходными данными и факторами для формирования размера и ВСП являются следующие:

- исходный размер A_1 и возрастная структура, т.е. распределение парка техники по возрастным группам j в исходный момент $i=1$ ($a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1j}$);
- планируемый размер покупки единиц новой техники $A_{п.i}$ в моменты $i=1; 2; 3$;
- планируемый размер списания единиц техники $A_{сн.i}$;
- срок службы или ресурс до списания $t_{сн} = t_a$.

Коэффициент пополнения ВСП определяется, как отношение величины поставки к величине парка в i -ом году:

$$r_i = A_{п.i}/A_i \quad (2.4)$$

Коэффициент списания или выбытия определяется как отношение величины списания к величине парка в i -ом году:

$$b_i = A_{\text{сп.}i} / A_i. \quad (2.5)$$

В случае:

- 1) $r_i = b_i$ - простое восстановление;
- 2) $r_i > b_i$ - расширенное, т.е. парк техники постоянно увеличивается;
- 3) $r_i < b_i$ - происходит уменьшение размера парка техники (деградация).

В случае применения метода **случайного списания** последовательность расчёта следующая. Расчет основывается на применении закономерностей закономерности III вида [49] – закономерности процессов восстановления. В данном случае весь парк техники рассматривается как восстанавливаемая техническая система, состоящая из отдельных элементов – единиц техники.

Поток замен выводимых их эксплуатации единиц техники на интервале существования МТП (i) описывается ведущей функцией $[\Omega(i)]$ и параметром потока списаний (списаний) и поставок (замен) $[\omega(i)]$. Ведущая функция определяет значения накопленных событий (замен списанных единиц техники) к величине установленной наработки (i) для большой системы - МТП.

Разность (2.6) определяет число событий на интервале наработок $[(i+1) - i]$ в исследуемой системе.

$$m(x_i) = [\Omega(i - 1) - \Omega(i)] \quad (2.6)$$

$$\omega(x_i) = \frac{m(x_i)}{n[(i)-i]} = \frac{[\Omega(i-1)-\Omega(i)]}{(i+1)-i}, \quad (2.7)$$

где n - количество единиц техники в парке.

В данном случае

$$\Omega(i) = \sum_{k=1}^{\infty} F_{k(i)} \quad (2.8)$$

где $F_{k(i)}$ - интегральная функция распределения наработки при k -ой замене списочного парка единиц техники;

i – календарный интервал времени работы парка.

Физический смысл выражения (2.8) заключается в том, что за фактический календарный срок существования парка единиц техники конкретной будет произведено несколько (k) замены и списаний каждой списочной единицы техники. При нормальном законе распределения наработки единицы техники до списания функция $\Omega(i)$ определяется аналитически:

$$\Omega(i) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi(z) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{1-k\bar{x}}{\sigma\sqrt{k}}\right) \quad (2.8)$$

где \bar{x} - средняя наработка единицы техники до списания;

σ - среднеквадратическое отклонение наработки;

k - число замен каждой единицы техники;

$\Phi(z)$ – табулированная нормированная функция.

Формирование парков техники имеет ряд общих закономерностей. Для парка техники одной модели характерны три периода по времени:

- I – от начала поставки (поставки) (t_0) до окончания среднего срока эксплуатации до списания ($t_{\text{сп}}$) – интенсивный рост величины парка;
- II – период стабилизации, в течение которого парк либо имеет постоянную величину, либо наблюдается незначительные сокращения или рост. В течение этого периода возраст парка достаточно стабилен.
- III – после прекращения производства и поставок данной модели в парк (t_k), что приводит к интенсивному сокращению размера парка данных единиц техники, а полное выбывание происходит к моменту: $i = t = t_k + t_{\text{сп}}$ до $\bar{T} = t_{\text{сп}}$

Таким образом изменение среднего возраста машинотракторных парков во времени должны носить монотонный колебательный характер, отражающий дисбаланс поставок и при увеличении значимости факторов потребительских свойств. Решение проблемы состоит в разработке методов, позволяющих обеспечить научно обоснованные размеры текущего обновления сельскохозяйственной техники применяя методики управления возрастной структурой парка (ВСП) МТП адаптированные в современных условиях его эксплуатации. Различают два основных способа расчёта ВСП. Анализ представленных моделей показывает, что

модель дискретного списания единиц техники в большей степени соответствует условиям работы сельскохозяйственной техники в силу следующих причин:

- 1) Дискретная схема применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации, что соответствует нагрузкам на сельскохозяйственную технику.
- 2) Дискретная схема списания предполагает определение значения показателя реализуемого качества единицы техники, который является актуальным для в настоящее время для сельскохозяйственной техники в силу возрастающих требований к её потребительским свойствам.

Поэтому важным элементом исследования является определение формы представления показателей технической эксплуатации единицы техники, отражаемых в показателе реализуемого качества.

2.2 Формы представления комплексного показателя реализуемого качества в системе управления возрастной структурой машинно-тракторного парка

При исследовании динамики изменения технического состояния техники и её агрегатов в процессе технической эксплуатации (ТЭ), как правило, применяются непрерывные формы функциональных зависимостей. Это позволяет при исследовании процессов ТЭ использовать классический аппарат математического моделирования и анализа, основанный на применении методов интегрирования и дифференцирования непрерывных функций.

На основании статистических исследований в применении практических расчётов, связанных с планированием и управлением показателями ТЭ машинно-тракторного парка (с учётом оценки эффективности и контроля), вполне может быть применима дискретная форма представления функциональных показателей. При этом, нередко, использование для анализа показателей ТЭ классических методов, дифференцирования и интегрирования, может быть не всегда оправдан-

ным. В данных случаях может с успехом применяться другой математический аппарат, позволяющий исследовать функции, имеющие дискретный вид. Непрерывную функцию всегда можно представить в виде дискретной зависимости, однако такое представление неизбежно влечёт появление определённой погрешности [50].

Представим возможность идентифицирования процессов изменения во времени основных показателей эффективности единицы ТЭС в дискретном виде на примере значений КТИ [51,52].

Изменение значения коэффициента технического использования сельскохозяйственной техники $[k^{тн}(t)]$ как функции от времени работы представим в виде дискретной функции:

$$k^{тн}(t) = \exp(-\beta t); nput = 1, 2, \dots, t^c, \quad (2.9)$$

где t^c – дискретное значение времени, соответствующие списанию,

β – количественный параметр, определяющий изменение КТИ в процессе ТЭ с/х техники.

В представленном графике на рисунке 2.3 зависимости (2.9) показаны в виде непрерывной и дискретной форм изменения $k^{тн}(t)$. При изменении вида функции от непрерывной к дискретной форме изменяется физическая интерпретация КТИ, так как при дискретной форме представления функции показатели определяются только для отдельно взятых дискретных значений ($t = 0, 1, 2, \dots$) на непрерывной шкале времени $[0; t^c]$.

Поэтому при дальнейшем рассмотрении $[k^{тн}(t)]$ в качестве коэффициента технического использования сельскохозяйственной техники будем принимать КТИ для возраста t в период $[t; t+1]$.

Данная интерпретация $[k^{тн}(t)]$ фактически соответствует действительности, так как КТИ сельскохозяйственной техники, является не статическим состоянием, и имеет физический смысл для некоторого диапазона времени $[\Delta t]$, а не для отдельного взятого момента времени $[t]$.

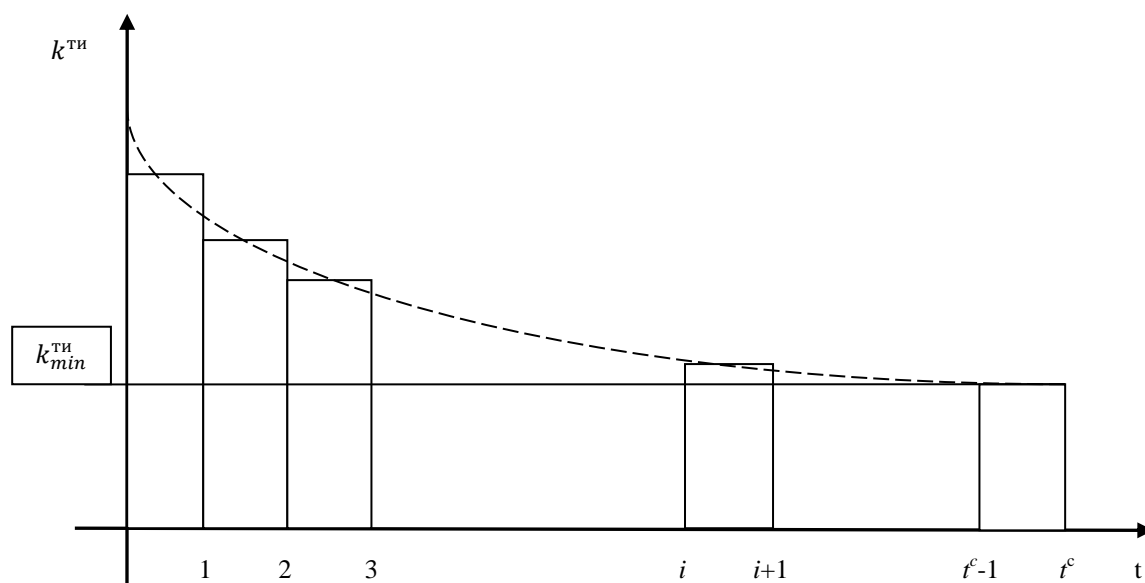


Рисунок 2.3 - Дискретная и непрерывная формы представления КТИ сельскохозяйственной техники [49,53]

Изменение значение наработки можно определять через время службы, а также через пробег, за время эксплуатации. И в том и в другом случае расчёт показателей ТЭ будет тождественным.

Рассмотрим изменение значения КТИ, в зависимости от пробега $[L(t)]$. Тогда для единицы техники имеющей возраст $[t]$ в период $[t; t+1]$, при этом будем считать, что:

$$L(t) = L_0 k^{mu}(t) = L_0 \exp(-\beta t); t = 1, 2, \dots, t^c - 1, \quad (2.10)$$

где L_0 – значение наработки (пробега) единицы техники, имеющей возраст $[t = 0]$, в период $[t = 0 \dots 1]$, или наработка (пробег) единицы техники в дискретную единицу времени;

$L(t)$ – значение наработки (пробега) возраста в $[t]$ единиц времени;

$k^{TI}(t)$ – КТИ единицы техники с возрастом $[t]$ времени за $(t + 1)$ интервал его эксплуатации.

Учитывая выражение (2.10), можно определить общий пробег единицы техники до её списания за период эксплуатации $[0; t^c]$.

$$L^c = \sum_{t=0}^{t^c-1} L(t) = L_0[1 + \exp(-\beta) + \exp(-2\beta) + \dots + \exp(-(t^c - 1)\beta)]. \quad (2.11)$$

Выражение в квадратных скобках является геометрической прогрессией, содержащей $[t^c]$ членов, где 1-ый член равен единице, а знаменатель прогрессии равен $[\exp(-\beta)]$. Определив сумму членов этой геометрической прогрессии, можно записать [53]:

$$L^c = \frac{L_0(1 - \exp(-\beta t^c))}{1 - \exp(-\beta)}. \quad (2.12)$$

Если единица техники имеет возраст $[t_1]$ интервалов времени можно определить пробег за период времени $[t_1; t_2]$:

$$L(t_1, t_2) = L(t_1) + L(t_1 + 1) + \dots + L(t_2 - 1) = \frac{L(t_1)[1 - \exp(-\beta(t_2 - t_1))]}{1 - \exp(-\beta)}. \quad (2.13)$$

Формула (2.13) является общей формулой, которая связывает ожидаемый срок эксплуатации единицы техники с периодом эксплуатации, зависящим возраста единицы техники. Например, если $[t_1 = 0]$ и $[t_2 = t^c]$, то результаты расчётов по формулам (2.12) и (2.13) тождественны [53].

Если прологарифмировать выражение (2.13) то, получим, что период времени $[t_1; t_2]$, за который единица техники реализует пробег $[L(t_1; t_2)]$, можно определить следующей по формуле:

$$t_1 - t_2 = \frac{-\ln\left[1 - \frac{L(t_1, t_2)}{L(t_1)}(-\exp(-\beta))\right]}{\beta}. \quad (2.14)$$

Из формулы (2.14) можно заключить, что общий срок службы единицы техники до достижения ей суммарного пробега эксплуатации $[L^c]$ определяется по формуле:

$$t^c = \frac{-\ln\left[1 - \frac{L^c}{L_0}(-\exp(-\beta))\right]}{\beta}. \quad (2.15)$$

Результат (2.15) получается при если постановить в (2.12) значения $[t_1 = 0]$ и $[t_2 = t^c]$. Тогда значение реализуемого КТИ единицы техники $[\bar{k}^{\text{ТИ}}]$ за интервал эксплуатации $[0, t^c]$ определяется по следующей формуле:

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{k_{\Sigma}^{\text{ТИ}}}{t^c}. \quad (2.16)$$

где $k_{\Sigma}^{\text{ТИ}}$ - сумма КТИ единицы техники за интервал времени эксплуатации $[0, t^c]$, то есть фактически за время $[t^c]$.

Тогда можно определить:

$$k_{\Sigma}^{\text{ТИ}} = \sum_{t=0}^{t^c-1} k^{\text{ТИ}}(t) = \sum_{t=0}^{t^c-1} \exp(-\beta t) = \frac{1 - \exp(-\beta t^c)}{1 - \exp(-\beta)}. \quad (2.17)$$

Используя (2.16) и (2.17), получим:

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{1 - \exp(-\beta t^c)}{t^c [1 - \exp(-\beta)]}. \quad (2.18)$$

Тогда из (2.12) определяется:
$$\frac{1 - \exp(-\beta t^c)}{1 - \exp(-\beta)} = \frac{L^c}{L_0}, \quad (2.20)$$

а, из (2.18) определяется:
$$\frac{1 - \exp(-\beta t^c)}{1 - \exp(-\beta)} = t_c \bar{k}^{\text{ТИ}}. \quad (2.21)$$

Так как, в (2.20) и (2.21) левые части формул совпадают и равны сумме КТИ единицы техники $[k_{\Sigma}^{\text{ТИ}}]$ за срок его эксплуатации, определяемый по формуле (2.17) [53]. Тогда, получаем:

$$\frac{L^c}{L_0} = t_c \bar{k}^{\text{ТИ}}, \quad (2.22)$$

Следовательно, реализуемый КТИ единицы техники за весь срок его эксплуатации должен определяться по формуле:

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{L^c}{L_0 t^c}. \quad (2.23)$$

Так как:

$$\exp(-\beta t^c) = k_{\min}^{\text{ТИ}} \quad (2.24)$$

где $k_{\min}^{\text{ТИ}}$ – КТИ единицы техники при её списании, то учитывая формулы (2.12), (2.17) и (2.18) можно получить следующие выражения:

$$L^c = \frac{L_0(1 - k_{\min}^{\text{ТИ}})}{1 - \exp(-\beta)}; \quad (2.25)$$

$$k_{\Sigma}^{\text{ТИ}} = \frac{1 - k_{\min}^{\text{ТИ}}}{1 - \exp(-\beta)}; \quad (2.26)$$

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{1 - k_{\min}^{\text{ТИ}}}{t^c [1 - \exp(-\beta)]}. \quad (2.27)$$

Приведенные выражения (2.25 ... 2.27) являются формулами для определения, соответственно: наработки (пробега) единицы техники до списания, суммы КТИ и значения реализуемого КТИ за весь срок эксплуатации [53]. Представим для сравнения формулы, которые были получены для определения аналогичных показателей с помощью методов классического математического аппарата:

$$k_{\Sigma}^{\text{ТИ}} = \frac{1 - k_{\text{min}}^{\text{ТИ}}}{\beta}; \quad (2.28)$$

$$L^c = \frac{L_0(1 - k_{\text{min}}^{\text{ТИ}})}{\beta}. \quad (2.29)$$

Если эти формулы сравнить, то приходим противоречию, а именно:

$$1 - \exp(-\beta) = \beta. \quad (2.30)$$

Что объясняется тем, что показатели ТЭ были приведены в дискретной форме. Оценка погрешности, появившееся в формулах, достаточно легко определяется. Представим формулу (2.30) следующим образом:

$$\exp(-\beta) = 1 - \beta. \quad (2.31)$$

Разложим в ряд функцию $[\exp(-\beta)]$, получим:

$$\exp(-\beta) = 1 - \frac{\beta}{1!} + \frac{\beta^2}{2!} - \frac{\beta^3}{3!} + \frac{\beta^4}{4!} - \dots. \quad (2.32)$$

Следовательно, в (2.31) приняты к расчётам только два первых члена формулы (2.32), то есть произведена линейризация экспоненциальной функции, то есть можно сделать выводы:

- 1) При значении параметра $[\beta \leq 0,0141]$ любой произвольный член разложения (2.32), с третьего и далее не по модулю не больше величины $[10^{-4}]$ иначе говоря. То есть, если $[\beta \leq 0,014]$ выражение (2.30) справедливо с точностью до 10^{-4} .
- 2) при $[\beta \leq 0,0447]$ достоверность представленных формул (гарантированная) составляет 10^{-3}
- 3) при значении параметра $[\beta \leq 0,0774]$ гарантированная точность операций по этим формулам в этом пункте будет $3 \cdot 10^{-3}$

- 4) при $[\beta \leq 0,1000]$ гарантированная точность операций по этим формулам в этом пункте будет до $5 \cdot 10^{-3}$.

Анализ данного обстоятельства позволяет сделать вывод о том, что применять приведённый в данном пункте математический аппарат для оценки динамики изменения показателей ТЭ сельскохозяйственной техники можно лишь при специально определённом шаге дискретности, а не произвольно:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i; i = 0, 1, 2, \dots, t^c - 1. \quad (2.33)$$

Тогда необходимо **обосновать величину шага дискретности** $[\Delta t]$.

Проблема состоит в том, что при больших значениях величины $[\Delta t]$ экспоненциальный закон изменения показателей ТЭ вырождается в линейный и теряется точность оценки их значений, а при малых значениях величины $[\Delta t]$ значительно возрастает объём вычислительной работы по оценке показателей, характеризующих эффективность ТЭ единицы техники [53].

Отношение величины $[t^c]$ и $[\Delta t]$ определяет число членов в геометрической прогрессии (2.11). В частности, если предполагается, что $[t^c]$ выражено в месяцах. Следовательно, $[\Delta t = 1]$ и число членов этой прогрессии составляет $[t^c]$. Однако время эксплуатации единицы техники до списания можно выразить и других единицах (например, в кварталах, годах).

При этом число членов в прогрессии (2.11) будет изменяться. Например, если $[t^c]$ выразить в кварталах, то число членов в прогрессии (2.11) уменьшится в три раза и составит $[t^c/3]$, а при измерении $[t^c]$ в декадах число членов этой прогрессии увеличится в три раза и будет равно $[3t^c]$. В свою очередь единица измерения $[t^c]$ однозначно определяет величину шага $[\Delta t]$ и, следовательно, значение параметра $[\beta]$, характеризующего интенсивность «старения» единицы техники в выбранную единицу времени.

Следовательно, можно предположить, для определения значения шага дискретности $[\Delta t]$ предложить итерационный алгоритм:

1. Полагаем $[t^c]$ в месяцах. При это $\Delta t = 1$.
2. Определяем средний пробег (времени службы) единицы техники $[L_0]$ в принятую единицу времени.

3. Решаем трансцендентное уравнение (2.12) относительно неизвестного параметра $[\beta]$ (остальные величины $[L^c]$, $[L_0]$ и $[t^c]$ в этом уравнении известны).
4. Анализируем полученное значение параметра $[\beta]$, сравнивая обеспечиваемую при этом значении $[\beta]$ точность вычислений с требуемой точностью, определяемой заданным малым числом $[\varepsilon]$, где этот ε – требуемая точность вычислений. Если $[0,5\beta^2 = \varepsilon]$, то вычисления по алгоритму завершаются, если $[0,5\beta^2 < \varepsilon]$, то следует перейти к выполнению пункта 5 алгоритма, а если $[0,5\beta^2 > \varepsilon]$, то осуществляется переход к пункту 6 данного алгоритма.
5. Увеличиваем величину шага дискретности $[\Delta t]$. Например, полагаем $[\Delta t = \Delta t + 1]$. При этом единица времени становится равной 2 месяца. Далее осуществляется переход к пункту 7 алгоритма.
6. Уменьшаем величину шага дискретности $[\Delta t]$. Например, полагаем $[\Delta t = 1/3(\Delta t)]$. При этом единица времени становится равной одной декаде.
7. Пересчитываем число членов в геометрической прогрессии (2.11). Например, при $[\Delta t = 2]$ оно уменьшается в 2 раза, а при $\Delta t = 1/3$ – увеличивается в 3 раза.
8. Переходим к выполнению пункта 2 алгоритма.

Описанные вычисления в пункте 2...8 повторяются до тех пор, пока не будет найдено максимальное значение $[\Delta t]$, обеспечивающее заданную точность вычислений $[\varepsilon]$.

Приведённый математический аппарат, позволяет оценивать изменение состояния единицы техники через показатели, выраженный дискретной функцией. То есть комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатель качества, базирующиеся на определении КТИ или КТГ вполне представимы в дискретной форме. При этом нужно учитывать важное обстоятельство – показатели надёжности базируются на расчёте показателей ТО и ТР техники.

Следовательно, дискретное представление показателей качества сельскохозяйственной техники должно быть согласовано с величинами приведения показате-

телей ТО и ТР при определении их удельных значений, а именно временными интервалами ТО. В пункте 1.3 были представлены методики, позволяющие решать данную задачу на базе циклового метода расчёта производственной программы по ТО и ТР, когда в качестве расчётного цикла принимается величина ТО.

2.3 Методы многокритериальной оценки совокупности потребительских свойств сельскохозяйственной техники в системе управления возрастной структурой парка

В пункте 1.3 актуализировалась необходимость дифференцированной оценки потребительских свойств сельскохозяйственной техники при определении ВСП машинно-тракторного парка [40]. В частности, более 30 лет назад разрабатывались классификации потребительских свойства сельскохозяйственной техники, разделяющие эти свойства на три группы [44]:

- 1) способность сельскохозяйственной техники к обеспечению технологических требований, определяемых условиями работы (технологические или агротехнические);
- 2) производительность и экономичность техники (технико-экономические);
- 3) свойства, обеспечивающие безопасность и комфорт оператора (общетехнические).

В качестве классификационных признаков принято принимать те или иные показатели этих свойств, характеризующие их [46]. Наличие численных измерителей потребительских свойств сельскохозяйственной техники позволяют перейти к их аналитической оценке и возможности учесть при адаптации методики управления ВСП к современным требованиям их эксплуатации.

Важным является методология оценки, которая с одной стороны должна объективно отражать весь комплекс необходимых свойств, а с другой стороны быть проста в применении для эффективной обработки значительных объёмов

данных, так как число свойств и их показателей значительно и со временем будет только увеличиваться.

Например, классификация потребительских свойств по пропашным тракторам, разработанная в Головном конструкторском бюро ПО «Минский тракторный завод», разделяет все потребительские свойства на 17 групп и оценивает их в долях единицы [44]. Показатели потребительских свойств пропашных тракторов для отдельных показателей каждого раздела определяются по формуле:

$$K_{\text{ПСО}}^i = \frac{\text{П}_{\text{со}}^{\text{T}}}{\text{П}_{\text{са}}^{\text{T}}}, \quad (2.34)$$

где $\text{П}_{\text{со}}^{\text{T}}$ - численные значения показателей свойств оцениваемой модели;

$\text{П}_{\text{са}}^{\text{T}}$ - численные значения показателей свойств оцениваемого аналога.

Подробный перечень потребительских свойств для тракторов приведен в **Приложении Б**. Дальнейший аналитический расчёт по данной методике базируется на ориентировочных значениях их весомости для показателей разделов $[\beta_i]$ и для отдельных показателей в разделах – $[\alpha_i]$. Серьёзным недостатком данного подхода определяется субъективизмом процедур принятия решений по значению того или иного веса рассматриваемого показателя. Например, весомость в группе оцениваемых показателей $[\alpha_i]$ определяется, а по сути назначается руководителем группы проектирования на основе анализа, проведённого в соответствие с технико-экономическим обоснованием (ТЭО) на проектируемый трактор. В случае невозможности численной оценки показателя качественных характеристик оцениваемой модели трактора (наличие системы диагностики, дизайн, эргономические показатели управления и др.), а также при отсутствии численных значений показателя, значения принимаются по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения показателя $K_{\text{ПСО}}^i$ при необходимости оценки качественно-го показателя

Оценка показателя	Принимаемое значение показателя $K_{\text{ПСО}}^i$
Значительно лучше (на 25 % и более)	2
Лучше (от 0 до 25 %)	1,5
Одинаковы	1,0
Хуже (от 0 до 25 %)	0,5
Значительно хуже (на 25 % и более)	0

Показатели потребительских свойств трактора по разделу и по отдельным показателям раздела определяется, соответственно по формулам:

$$K_{\text{пер}}^i = \sum \alpha_i \cdot K_{\text{ПСО}}^i, \quad (2.35)$$

$$K_{\text{пс}}^i = \sum \beta_i \cdot K_{\text{пер}}^i, \quad (2.36)$$

где α_i – субъективно определяемый вес отдельного показателя в оцениваемом разделе

β_i - субъективно определяемый вес показателя раздела в оцениваемой модели

Далее производится расчёт среднего значения измерителя потребительских свойств для оценки качества по следующей формуле [33]:

$$K_{\text{ПСО}}^c = \frac{\sum K_{\text{пс}}^i}{n}, \quad (2.37)$$

где n – количество оцениваемых моделей принятых к расчёту

Как уже отмечалось данный подход характеризуется субъективностью оценок. Между тем существующий и практикуемый в современных исследованиях аналитический инструментарий решения многокритериальных задач данного класса позволяют, решать данные задачи, не прибегая к процедурам субъективного назначения веса отдельных свойств (критериев) [54,55,66,57,58,99 и др.]. Например, нет необходимости субъективно определять вес каждого показателя, если

есть информация о значимости отдельных свойств единицы техники (критериев). Они принимаются в качестве оптимизируемых параметров в системе оценки, применяя метод оценок Фишберна [60]. Когда достаточно расположить критерии по мере изменения их значимости:

$$K_1 \geq K_2 \geq \dots \geq K_m, \text{ где } j = 1 \dots m \quad (2.37)$$

где m – количество критериев

Тогда, система определения КОВ имеет вид:

$$c_j = \frac{2(m-j+1)}{m(m+1)}. \quad (2.38)$$

Возможно усиление линейного упорядочивания при наличии информационного обеспечения (априорного знания об объекте исследования):

$$\begin{cases} c_1 \geq c_2 + c_3 + \dots + c_m \\ c_2 \geq c_3 + c_4 + \dots + c_m \\ \dots \\ c_{m-1} \geq c_m \end{cases} \quad (2.39)$$

Тогда значения система КОВ по другой формуле:

$$c_j = \frac{2^{m-i}}{2^{m-1}}, j = 1, 2, \dots, m \quad (2.40)$$

В том случае если есть априорная информация о интервалах возможных значений КОВ [условно от a_j до b_j] (например, данные таблицы 2.1), тогда применяется формула:

$$c_j = a_j + \frac{1 - \sum_{j=1}^m a_j}{\sum_{j=1}^m (a_j - b_j)} (a_j - b_j), j = 1, 2, \dots, m. \quad (2.41)$$

где

$$a_j > b_j, i = 1, 2, \dots, j, \quad \sum_{j=1}^m a_j \leq 1, \sum_{j=1}^m b_j \geq 1 \quad (2.11)$$

Приведенный подход показывает, что расчёт КОВ легко формализуется и при этом нет необходимости субъективных (экспертных) оценках, при этом:

- 1) нет обязательной необходимости применения методов теории экспертных оценок;
- 2) процедура расчёта формализована и легко реализуется в программном обеспечении ЭВМ;

- 3) в процедуре расчёта возможно изменение информации (оперативное) о свойствах (критериях) при изменении условий в процессе проведения исследований [61,62,63,64].

Можно констатировать, применение методов многоканальной оценки является органичным и необходимым элементом разработки принципиально новой методики определения ВСП с учётом актуальных потребительских свойств. При этом данная методика должна содержать два основных элемента:

Первым важным элементом определения ВСП является определение формы представления показателей технической эксплуатации единицы техники, отражаемых в показателе реализуемого качества. При исследовании динамики изменения технического состояния техники и её агрегатов в процессе технической эксплуатации (ТЭ), как правило, применяются непрерывные формы функциональных зависимостей.

Это позволяет при исследовании процессов ТЭ использовать классический аппарат математического моделирования и анализа, основанный на применении методов интегрирования и дифференцирования непрерывных функций. При этом, нередко, использование для анализа показателей ТЭ классических методов, дифференцирования и интегрирования, может быть не всегда оправданным. В данных случаях может с успехом применяться другой математический аппарат, позволяющий исследовать функции, имеющие дискретный вид. Непрерывную функцию всегда можно представить в виде дискретной зависимости, однако такое представление неизбежно влечёт появление определённой погрешности. То есть комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатель качества, базирующиеся на определении коэффициентов технического использования или технической готовности (КТИ или КТГ) вполне представимы в дискретной форме. При этом нужно учитывать важное обстоятельство – показатели надёжности базируются на расчёте показателей ТО и ТР техники. Следовательно, дискретная форма представления показателей качества сельскохозяйственной техники должна быть согласована с величинами приведения показателей ТО и ТР при определении их удельных значений, а именно временными интервалами ТО, а

также должны быть разработаны методики, позволяющие решать данную задачу на базе циклового метода расчёта производственной программы по ТО и ТР, когда в качестве расчётного цикла принимается величина интервала ТО.

Вторым обязательным элементом определения ВСП является необходимость дифференцированной оценки потребительских свойств сельскохозяйственной техники при определении возрастной структуры машинно-тракторного парка. Классификация потребительских свойств сельскохозяйственной техники разделяет эти свойства на три группы: способность сельскохозяйственной техники к соблюдению технологических требований, определяемых условиями работы (технологические или агротехнические); производительность и экономичность техники (технико-экономические); свойства, обеспечивающие безопасность и комфорт водителя (общетехнические).

В качестве классификационных признаков принято принимать те или иные показатели этих свойств, характеризующие их. Наличие численных измерителей потребительских свойств сельскохозяйственной техники позволяют перейти к их аналитической оценке и возможности учесть их при адаптации методики управления ВСП к современным требованиям их эксплуатации. Важным элементом в аналитических расчётах является методология оценки потребительских свойств, которая с одной стороны должна объективно отражать весь комплекс необходимых свойств, а с другой стороны быть проста в применении для эффективной обработки значительных объёмов данных, так как число свойств и их показателей значительно, и со временем будет только увеличиваться.

По итогам анализа методов, позволяющих учесть актуальные требования к современной модели управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники, можно составить схему адаптации её к современным условиям (рисунок 2.3)

Анализ моделей управления ВСМТП показал, что модель дискретного списания в большей степени соответствует условиям работы сельскохозяйственной техники. Важным элементом является определение формы представления показателей технической эксплуатации единицы техники, отражаемых в показателе ре-

лизуемого качества. Установлено, что применять дискретный математический аппарат для оценки динамики изменения показателей ТЭ сельскохозяйственной техники можно лишь при специально определённом шаге дискретности, а не произвольно. То есть комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатель качества, базирующиеся на определении КТИ или КТГ вполне представимы в дискретной форме, но при этом нужно учитывать важное обстоятельство – показатели надёжности базируются на расчёте показателей ТО и ТР рассматриваемой техники.



Рисунок 2.3 – Схема адаптации модели управления ВСП к современным условиям функционирования машинно-тракторного парка

Следовательно, дискретная форма представления показателей качества сельскохозяйственной техники должна быть согласована с величинами приведения показателей ТО и ТР при определении их удельных значений, а именно временными интервалами ТО. При этом необходимо учитывать дифференцированную оценку потребительских свойств сельскохозяйственной техники при определении возрастной структуры машинно-тракторного парка по трём основным

группам: способность сельскохозяйственной техники к соблюдению технологических требований, определяемых условиями работы (технологические или агротехнические); производительность и экономичность техники (технико-экономические); свойства, обеспечивающие безопасность и комфорт водителя (общетехнические). Между тем, применяемые сегодня подходы к управлению качеством сельскохозяйственной техники характеризуется субъективностью оценок, поэтому необходимо применять аналитический инструментальный решения многокритериальных задач, не прибегающий к процедурам субъективного назначения веса отдельных свойств (критериев). По итогам анализа методов, позволяющих учесть актуальные требования к современной модели управления возрастной структурой сельскохозяйственной техники определена схема адаптации её к современным условиям эксплуатации МТП.

Выводы по второй главе

Во второй главе рассматривались модели и методы управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники. Анализ моделей управления ВСМТП показал, что модель дискретного списания в большей степени соответствует условиям работы сельскохозяйственной техники в силу следующих причин:

- 1) применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации, что соответствует нагрузкам на сельскохозяйственную технику.
- 2) предполагает определение значения показателя реализуемого качества единицы техники, который является актуальным для в настоящее время для сельскохозяйственной техники в силу возрастающих требований к её потребительским свойствам.

Важным элементом исследования является определение формы представления показателей технической эксплуатации единицы техники, отражаемых в по-

казателе реализуемого качества. Поэтому анализировалась возможность представления процессов изменения по времени основных показателей работы в дискретной форме на примере значений КТИ.

Установлено, что применять данный математический аппарат для оценки динамики изменения показателей ТЭ сельскохозяйственной техники можно лишь при специально определённом шаге дискретности, а не произвольно. То есть комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатель качества, базирующиеся на определении КТИ или КТГ вполне представимы в дискретной форме, но при этом нужно учитывать важное обстоятельство – показатели надёжности базируются на расчёте показателей ТО и ТР техники. Следовательно, дискретная представления показателей качества сельскохозяйственной техники должна быть согласована с величинами приведения показателей ТО и ТР при определении их удельных значений, а именно временными интервалами ТО.

Обоснована необходимость дифференцированной оценки потребительских свойств сельскохозяйственной техники при определении возрастной структуры машинно-тракторного парка по трём основным группам: способность сельскохозяйственной техники к соблюдению технологических требований, определяемых условиями работы (технологические или агротехнические); производительность и экономичность техники (технико-экономические); свойства, обеспечивающие безопасность и комфорт водителя (общетехнические).

Определено, что применяемые подходы при решении многокритериальных задач характеризуется субъективностью оценок, поэтому необходимо разрабатывать или применять аналитический инструментарий решения многокритериальных задач, не прибегающий к процедурам субъективного назначения веса отдельных свойств (критериев)

По итогам анализа методов, позволяющих учесть актуальные требования к современной модели управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники **определена** схема адаптации её к современным условиям эксплуатации МТП.

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

3.1 Алгоритм представления показателей ТО и ТР МТП в виде дискретных зависимостей

В соответствии с обоснованным в пункте 2.2 процедуру формирования инициалей необходимо проводить с учетом принятых значений интервалов дискретных состояний (дискретного цикла). В данном исследовании за значение дискретного цикла (ДЦ) принимается один год, в течении которого фиксируются изменения показателей ТО и ТР при эксплуатации МТП. Переход к величине ДЦ в календарном периоде требует адаптации основных показателей ТО и ТР, так как значения расчётного цикла ТЭ (это как правило срок службы до капитального ремонта) может не совпадать с принятой величиной ДЦ. В этом случае произойдут закономерные изменения в расчёте производственной программы по ТО и ТР, что должно быть учтено при разработке методики управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники.

Данные изменения в расчёте производственной программы по ТО и ТР применительно к эксплуатации автомобильной техники были исследованы в ряде научных работ [64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79]. В таблице 3.1 приведен перечень показателей расчёта производственной программы по ТО и ТР парка МТП при переходе на цикловой метод расчёта, когда в качестве расчётного цикла принимается значение срока эксплуатации МТП – календарный год.

ДЦ производит набор последовательных технических эффектов в течение взвешенного срока службы в один год. Для подразделений технического обслуживания МТП - регулярно по определенным графикам по количеству мото-часов, которое определяется по следующему плану: ЕТО - регулярное техническое об-

служивание - 10 мото-часов; ТО-1 – 250 мото-часов; ТО-2 – 500 мото-часов; ТО-3 – 1000 мото-часов.

Таблица 3.1 – Перечень показателей ТО и ТР в разрабатываемой методике

№	Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение показателя
1	нормативная трудоемкость общего еже-сменного обслуживания	чел·ч	$t_{EOC}^{(H)}$
2	трудоемкость ежесменного обслуживания	чел·ч	t_{EO_Tj}
3	количество технических воздействий за цикл единицы МТП	ед	m_{TOij}
4	норма простоя в ТО	час	N_{TOji}
5	суммарная норма простоя в ТО всех видов МТП за цикл для МТП одной марки, час	час	N_{TOj}^{Σ}
6	суммарная норма простоя в ТО за цикл с учетом EO_T	час	N_{TOj}^{Σ}
7	количество ТО за цикл всех единиц МТП одной марки	ед	M_{TOji}
8	время простоя в каждом виде ТО за цикл всех единиц МТП одной марки,	час	T_{TOij}
9	время простоя во всех видах ТО, кроме EO_T за цикл всех единиц МТП одной марки	час	T_{TOj}^{Σ}
10	время простоя в EO_T за цикл всех единиц одной марки	час	$T_{EO_Tj}^{\Sigma}$
11	время простоя во всех видах ТО (включая EO_T) за цикл всех единиц МТП одной марки	час	T_{TOj}^{Σ}
12	норма простоя в ТР	дней/100 м-часов	N_{TR}
13	дни в ремонте за цикл	дн.	D_{TR}
14	число дней простоя единиц МТП в ТО за цикл	дн.	D_{TOj}
15	число дней работы единиц МТП за цикл	дн.	$D_{p_{ij}}$
16	продолжительность цикла ТО (ТО-1, ТО-2, ТО-3)	дн.	D_{ij}
17	количество циклов ТО за год, ед.	ед.	η_{ij}
18	суммарное время простоев в ТО (без простоев в EO_T) единиц МТП за год	час	T_{TOj}^{Γ}

19	общее время простоев в ТО всего парка МТП за год	час	T_{TO}^{Γ}
20	расчетное число постов ТО (без постов ЕО _Т)	ед	X_{TO}
21	расчетный коэффициент технической готовности для каждой марки единиц МТП.	-	α_{Tj}
22	расчетный коэффициент технической готовности	-	α_T
23	общий по всему парку годовой объем работ ТР	чел·ч.	t_{TP}^{Γ}
24	коэффициент неравномерности загрузки постов ТР.	-	ψ
25	годовой фонд рабочего времени зоны ТР	час	Φ_{TP}^{Γ}
22	годовой объем работ ТР по каждой единице МТП	чел·ч.	t_{TPj}^{Γ}
23	коэффициент, учитывающий отношение суммарного годового объема работ ТР парка к суммарному годовому объему работ ТО (без работ ЕО _Т).		μ
24	норма простоя в ЕО _Т единицы МТП соответствующей марки		N_{EO_Tj}
25	количество ЕО _Т (перед ТО) за цикл всех единиц МТП одной марки	ед.	M_{EOj}^{Π}
26	количество ЕО _Т за год для всех единиц МТП одной марки	ед.	$M_{EO_Tj}^{\Gamma}$
27	простои в ЕО _Т за год для всех единиц МТП одной марки	час	$T_{EO_Tj}^{\Gamma}$
28	простои в ЕО _Т (перед ТО) за год для всего парка	час	$T_{EO_T}^{\Gamma}$
29	количество всех обслуживаний соответствующего за цикл	ед	m
30	суммарная трудоемкость всех видов ТО для единицы МТП, чел·ч.	чел·ч.	t_{TOj}
31	суммарная трудоемкость работ ТО (кроме ЕО _Т) за год по маркам МТП, чел·ч.	чел·ч.	t_{TOj}^{Γ}
32	общий годовой объем работ ТО (кроме ЕО _Т) парка,	чел·ч.	t_{TO}^{Γ}
33	общее время простоев за год всего парка МТП в ЕО _Т перед работами ТО и ТР,	чел·ч.	$T_{EO_T}^{\Gamma\Sigma}$

На рисунке 3.1 приведена схема формирования пространства дискретных состояний парка МТП за ДЦ.

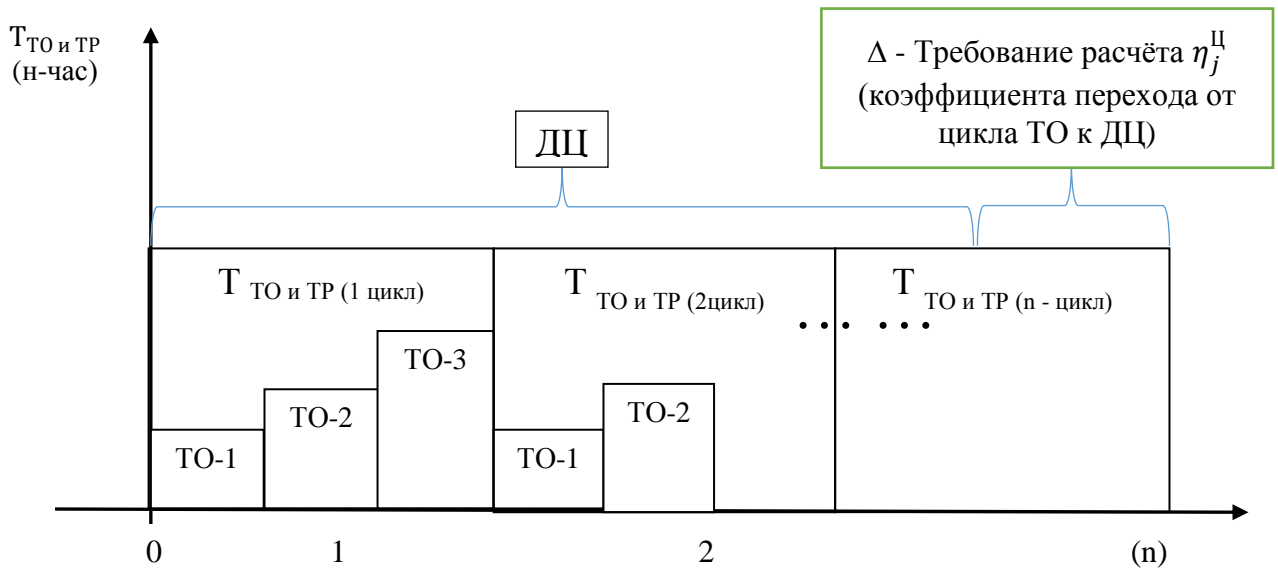


Рисунок 3.1 – Схема формирования пространства дискретных состояний парка МТП за ДЦ

Принципиально методика расчёта производственной программы по ТО и ТР не изменяется, но появляется необходимость адаптировать её к новому понятию расчетного цикла – ДЦ. Детали алгоритма адаптации приведены ниже.

Простой МТП в ТО за дискретный цикл определяются по формуле [73]:

$$N_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n (N_{ji}^{\text{ТО}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}), \text{ час}, \quad (3.1)$$

где $N_{ij}^{\text{ТО}}$ – норма простая единицы МТП в ТО;

i – номер ТО (ТО-1, ТО-2, ТО-3) в цикле;

j – номер отдельного единицы МТП;

$m_{ij}^{\text{ТО}}$ – количество ТО одного вида за цикл.

Все данные могут определяться, как для отдельной модели МТП, так и для отдельной единицы МТП (индивидуально), то есть данном этапе не суммируются по всему парку.

Количество ТО отдельного вида для j -го МТП за цикл ТО:

$$M_{ij}^{\text{ТО}} = A_j^{\text{сп}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ ед.} \quad (3.2)$$

где $A_j^{\text{сп}}$ - списочное количество j -го МТП, ед.

Простой в i -ом ТО всех единиц МТП одной модели за цикл ТО:

$$T_{ij}^{\text{ТО}} = M_{ij}^{\text{ТО}} \cdot N_{ji}^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (3.3)$$

Общее время простоя во всех видах ТО МТП одной модели за цикл ТО:

$$T_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n T_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (3.4)$$

Дни простоя j -ой единицы МТП в ТР за цикл ТО:

$$D_j^{\text{ТР}} = \frac{t_{ji}^{\text{ТР}} \cdot L_{\text{ц}}}{1000}, \text{ дн. /1000 м-час.}, \quad (3.5)$$

где $t_{ji}^{\text{ТР}}$ – удельное значение показателя трудоёмкость ТР, дн./1000 м-час;

$L_{\text{ц}}$ – наработка единицы МТП за цикл ТО, м-час.

Удельное значение показателя трудоёмкости ТР j -ой единицы МТП:

$$t_{\text{тр}j} = \frac{10^3}{L_{\text{ц}}^{\text{ТО}}} \cdot \sum_{k=1}^p T_{\text{тр}kj}, \text{ н-час/1000 м-час.} \quad (3.6)$$

где p – количество воздействий ТР в пределах цикла ТО;

$T_{\text{тр}ki}$ - трудоёмкость необходимая для устранения отказа, норма-час.

Удельная трудоёмкость работ ТР j -го единицы МТП за ДЦ [70,73]:

$$t_{\text{ц}j}^{\text{ТР}} = t_j^{\text{ТР}} \cdot \eta_j^{\text{Ц}}, \text{ н-час.} \quad (3.7)$$

где $\eta_j^{\text{Ц}}$ – коэффициент перехода от цикла ТО к ДЦ определяется по формуле:

$$\eta_j^{\text{Ц}} = \frac{D_j^{\text{П}} + D_j^{\text{ТО}} + D_j^{\text{ТР}}}{D_j^{\text{Ц}}}, \quad (3.8)$$

где $D_j^{\text{П}}$ – дни работы в единицы МТП в течении ДЦ, дн.;

$D_j^{\text{Ц}}$ – количество дней в ДЦ, дн.

Время простоев j -ой единицы МТП в ТО за ДЦ [64,65]:

$$T_{\text{ц}j}^{\text{ТО}} = \eta_j^{\text{Ц}} \cdot T_j^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (3.9)$$

где $T_j^{\text{ТО}}$ – время простоев j -ой единицы МТП в ТО за цикл ТО, час.

Время простоев в ТО всех единиц МТП за ДЦ:

$$T_{\text{ц}}^{\text{ТО}} = \sum_{j=1}^m T_{\text{ц}j}^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (3.10)$$

Объём работ (трудоёмкость) по ТО j -ой единицы МТП:

$$t_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n t_{ij}^{\text{ТО}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ н}\cdot\text{час}, \quad (3.11)$$

где $m_{ij}^{\text{ТО}}$ – количество обслуживаний соответствующего вида за ТО цикл, ед.;

$t_{ij}^{\text{ТО}}$ – норматив ТО, н·час.

Цикловая трудоемкость работ по ТО j-ой единицы МТП:

$$t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} = t_j^{\text{ТО}} \cdot A_j^{\text{сп}}, \text{ н}\cdot\text{час/цикл ТО}. \quad (3.12)$$

Трудоемкость работ ТО j-ой единицы МТП за ДЦ [65]:

$$t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} = t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} \cdot \eta_j^{\text{Ц}}, \text{ н}\cdot\text{час/ДЦ} \quad (3.13)$$

где $\eta_j^{\text{Ц}}$ – коэффициент перехода от цикла ТО к ДЦ.

Объем работ (трудоемкость ТО) парка МТП за ДЦ:

$$t_{\text{Ц}}^{\text{ТО}} = \sum_{j=1}^m t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}}, \text{ н}\cdot\text{час/ДЦ} \quad (3.14)$$

Объем работ (трудоемкость) ТР j-ой единицы МТП за ДЦ:

$$T_j^{\text{ТР}} = L_{\text{Ц}j} \cdot t_{\text{Ц}j}^{\text{ТР}}, \text{ м}\cdot\text{час}. \quad (3.15)$$

Разработанный алгоритм определения ремонтно-технических показателей в виде дискретных зависимостей является важным элементом эффективного управления техническими процессами. Представление показателей ТО и ТР в дискретной форме позволяют реализовать комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатели качества, базирующиеся на определении коэффициентов технического использования или технической готовности (КТИ или КТГ) в дискретной форме.

3.2 Математическая модель управления возрастной структурой парка МТП на базе дискретных форм представления показателей ТО и ТР

В соответствии с [80, 81, 82, 83, 84] оптимальной является такая возрастная структура, при которой количество транспортно-технологических машин в каждой возрастной группе одинаково. Следовательно, возможные методы управления возрастной структурой должны быть направлены на ее выравнивание так, чтобы к

определенному моменту времени все возрастные группы были представлены одинаковым количеством транспортно-технологических машин.

Одним из наиболее действенных методов выравнивания возрастной структуры является рациональная стратегия списания старых и поступления новых транспортно-технологических машин [85, 86, 87].

Рассмотрим математическую модель выравнивания возрастной структуры на основе оптимизации стратегии списания и поступления новой техники в МТП. Введем следующие допущения и обозначения:

1. Рассматриваемая совокупность МТП однородная (парк состоит из техники одной модели или одной группе приведения показателей ТО и ТР);
2. Все единицы МТП классифицированы по возрастному признаку на $(N+1)$ -ю возрастную группу;
3. Транспортно-технологическая машина может быть списана после эксплуатации в рамках $(N-1)$ -й и N -й возрастной группы и подлежит безусловному списанию после эксплуатации в $(N+1)$ -й группе;
4. Замена списываемых осуществляется только новыми транспортно-технологическими машинами;
5. Списание старых и поступление новых транспортно-технологических машин осуществляется только в дискретные моменты времени $j = 1, 2, \dots, N$.
6. Шаг дискретной шкалы времени постоянный.

Сказанное означает, что переход рассматриваемой системы из одного состояния в другое (следующее) осуществляется:

- только в дискретные моменты времени j ,
- продолжительность во времени между каждой соседней парой этих моментов всегда одинаковая и составляет величину Δt .
- в любой фиксированный момент времени j суммарное количество единиц техники в парке неизменно.

Таким образом, общая продолжительность планирования определяется величиной произведения:

$$\Pi = N \cdot \Delta t \quad (3.16)$$

Будем обозначать количество транспортно-технологических машин символом (A). Исходная возрастная структура парка характеризуется вектором:

$$\{a_i\}; i = \overline{1, N}, \quad (3.17)$$

где a_i - количество транспортно-технологических машин, относящихся к i -й возрастной группе;

Каждая транспортно-технологическая машина переходит из любой возрастной группы в следующую в соответствии со стохастическими законами распределения случайных величин, то есть с вероятностями близкими к единице [88, 89, 90].

Исключение составляют три последние возрастные группы. Данное исключение определяется целью исследования – разработкой методики, позволяющей реализовывать управление возрастной структурой машинно-тракторного парка с учетом потребительских свойств, определяемой дискретной математической моделью изменения номенклатуры показателей ТО и ТР, так как предполагается применять разработанную методику в уже действующих машинно-тракторных парках, а не для полного обновления парка сельскохозяйственного предприятия.

Именно три последние группы формализуются с возможностью учёта потребительских свойств транспортно-технологических машин, то есть здесь происходит смена информационного состояния исследуемой системы. Во второй главе было обосновано, что оценка потребительских свойств транспортно-технологических машин носит стохастический неопределенный характер и в этом случае нужно применять специализированный математический аппарат принятия решений в условиях неопределенности, а сама задача носит многокритериальный характер.

Обозначим условия перехода в трёх последних возрастных группах p [91, 92, 93, 94, 95, 96, 97].

- 1) Из $(N-1)$ -й возрастной группы транспортно-технологическая машина либо переходит в N -ю группу, либо списывается.

- 2) Из N -й группы транспортно-технологическая машина или переходит в $(N+1)$ -ю группу, или списывается.
- 3) Из $(N+1)$ -й возрастной группы транспортно-технологическая машина подлежит списанию в обязательном порядке;

Символом x_{ij} будем обозначать количество транспортно-технологических машин i -й возрастной группы, имеющееся в машинно-тракторном парке в j -й период планирования;

$$i = \overline{1, N+1}; j = \overline{1, N}; \quad (3.18)$$

Интенсивность «старения» транспортно-технологических машин за время Δt будем обозначить символом β ;

Коэффициент технического использования транспортно-технологической машины i -й возрастной группы будем определять выражением

$$\text{КТГ} = \exp(-\beta(i-1)), i = \overline{1, N+1} \quad (3.19)$$

Возраст транспортно-технологических машин i -й возрастной группы будем считать равным

$$t_i = (i-1)\Delta t; i = \overline{1, N+1}. \quad (3.20)$$

Итак, когда все основные допущения и обозначения перечислены перейдем к формализованному описанию и изучению рассматриваемой оптимизационной задачи выравнивания возрастной структуры машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия.

Сформулируем математически ограничительные условия этой задачи:

$$\left. \begin{aligned} x_{i1} &= a_i; i = \overline{1, N} \\ x_{ij} &= x_{i-1, j-1}; i = \overline{2, N-1}; j = \overline{2, N} \\ x_{ij} &\leq x_{i-1, j-1}; i = \overline{N, N+1}; j = \overline{2, N} \\ \sum_{i=1}^{N+1} x_{iy} &= A; j = \overline{1, N} \\ x_{ij} &\geq 0; i = \overline{1, N+1}; j = \overline{1, N} \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

В качестве целевой функции рассматриваемой задаче с задачей примем математическое выражение с многокритериальной структурой КТГ:

$$\min_{1 \leq j \leq N} \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N+1} x_{ij} \text{КТГ} \rightarrow \max_{\{x_{ij}\}} \quad (3.22)$$

$$\min_{1 \leq j \leq N} \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N+1} x_{ij} \exp(-\beta(i-1)) \rightarrow \max_{\{x_{ij}\}} \quad (3.23)$$

где

$$\begin{cases} \text{КТГ}^{(1)} = \text{КТГ}_0^{(1)} e^{-\beta_1 t} \\ \text{КТГ}^{(2)} = \text{КТГ}_0^{(2)} e^{-\beta_2 t} \\ \text{КТГ}^{(3)} = \text{КТГ}_0^{(3)} e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (3.24)$$

По сравнению с ранее описанной ранее задачами в рассматриваемой модели (3.21), (3.22), (3.23), (3.24) при условии, что исходная возрастная структура считается известной (заданной условиями задачи).

- 1) введена дополнительная $(N+1)$ -я возрастная группа;
- 2) разрешено единиц МТП не из одной, а из трех возрастных групп – из $(N-1)$ -й, N -й и $(N+1)$ -й;
- 3) списание из трех последних возрастных групп производится при условии решения многокритериальной задачи определения КТГ с учетом потребительских свойств, определяемых, как отдельные критерии.

Очевидно, что введение этих дополнений и создает возможность маневра при управлении и оптимизацией процесса списания старых и поставки новых транспортно-технологических машин в МТП. Очевидно, также что использование этого маневра и позволяет управлять возрастной структурой, приводя ее к оптимальной.

Сформулированная задача (3.21) ... (3.24) относится к классу комбинаторных задач математического программирования. Можно показать, что оптимальное решение этой задачи достигается при использовании следующих рекуррентных соотношений:

$$x_{i1} = a_i; \quad i = \overline{1, N}; \quad (3.25)$$

$$x_{1j} = \frac{A}{N}; \quad j = \overline{2, N}; \quad (3.26)$$

$$x_{ij} = x_{i-1, j-1}; \quad i = \overline{2, N-1}; \quad j = \overline{2, N}; \quad (3.27)$$

$$x_{N, j} = \begin{cases} x_{N-1, j-1}; x_{N, j-1} \geq \frac{A}{N}; \quad j = \overline{2, N} \\ x_{N-1, j-1}; -\frac{A}{N} + x_{N, j-1}; \quad x_{N, j-1} < \frac{A}{N}; \quad j = \overline{2, N} \end{cases} \quad (3.28)$$

$$x_{N+1,j} = \begin{cases} 0; x_{N,j-1} \leq \frac{A}{N}; j = \overline{2, N} \\ x_{N,j-1} - \frac{A}{N}; x_{N,j-1} > \frac{A}{N}; j = \overline{2, N} \end{cases} \quad (3.29)$$

Проанализируем сформулированную задачу:

Соотношение (3.24) позволяет оценивать многокритериальную структуру потребительских свойств МТП в системе управления возрастной структурой парка следующим образом [98]:

$$\begin{cases} \Pi^{(1)} = \Pi_0^{(1)} e^{-\beta_1 t} \\ \Pi^{(2)} = \Pi_0^{(2)} e^{-\beta_2 t} \\ \Pi^{(3)} = \Pi_0^{(3)} e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (3.30)$$

Характер изменения отдельных показателей качества техники во времени представлен на рисунке 3.2.

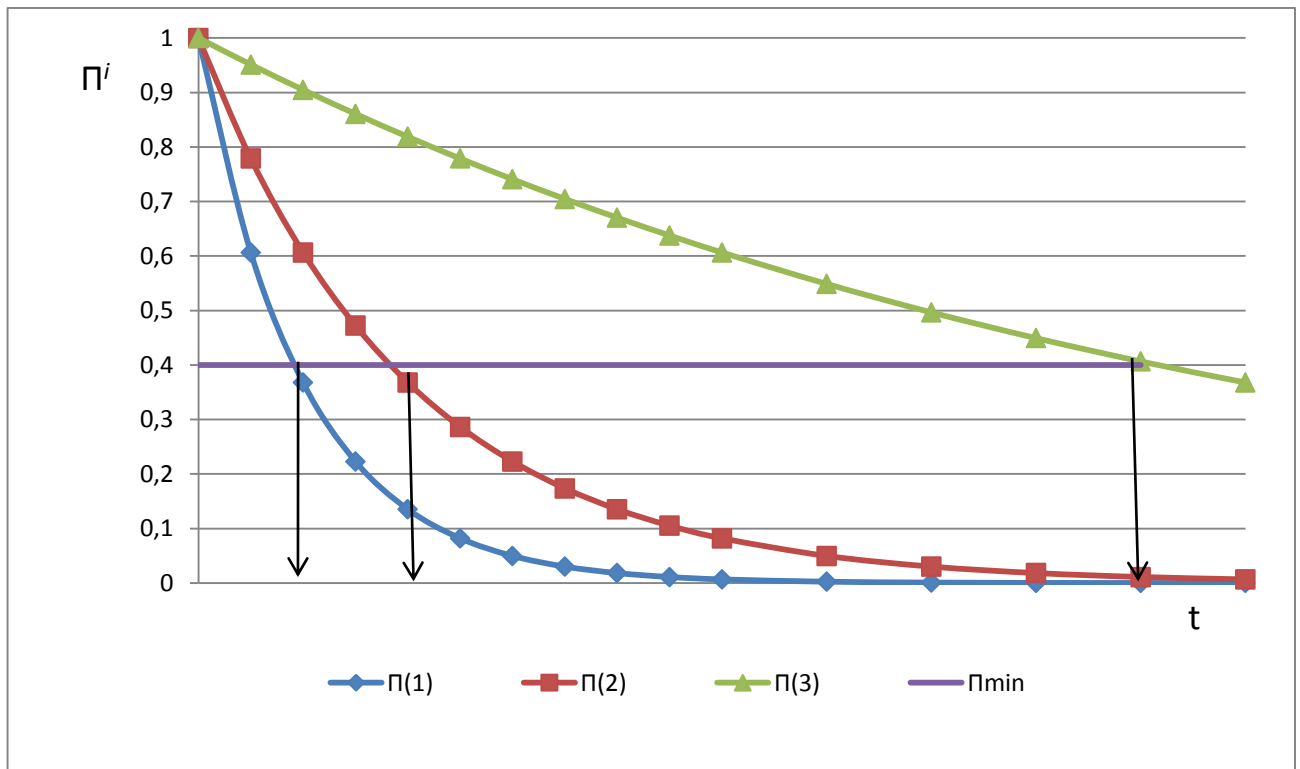


Рисунок 3.2 – Изменение отдельных показателей качества транспортно-технологических машин развернутых во времени

При этом изменение показателя качества транспортно-технологической машины определяется экспоненциальной зависимостью (рисунок 2.3) [99, 100].

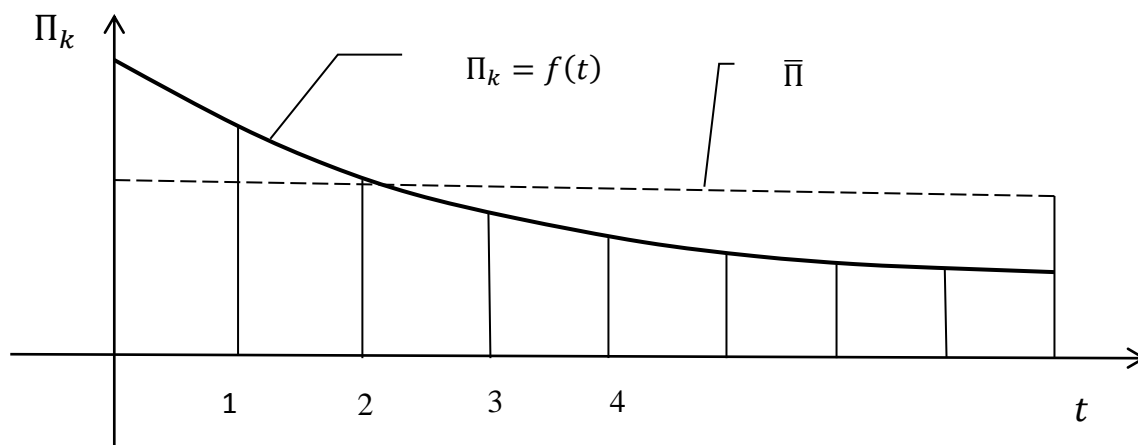


Рисунок 3.3 – Изменение показателя качества МТП во времени [99, 100]

Соотношения (3.25) показывают, что

- в первый период планирования ($j=1$) в качестве возрастной структуры служит вектор $\{a_i\}$; $i = \overline{1, N}$, соответствующий сложившейся в сельскохозяйственном предприятии возрастной структуре МТП.

Соотношения (3.26) определяют стратегию приобретения новых транспортно-технологических машин и диктуют в каждый фиксированный момент времени (j) приобретать одно и то же количество транспортно-технологических машин.

Соотношения (3.27) описывают динамику перехода транспортно-технологических машин из предыдущих возрастных групп в последующие в процессе эксплуатации машинно-тракторного парка хозяйства. Область действия этих соотношений распространяется на первые $(N-1)$ возрастные группы.

Соотношения (3.28) определяют стратегию списания транспортно-технологических машин из $(N-1)$ -й группы и описывают процесс комплектования N -й возрастной группы.

Наконец, соотношения (3.29) определяют необходимость сохранения в парке транспортно-технологических машин в рамках дополнительной $(N+1)$ -й возрастной группы.

3.3 Математическая модель определения коэффициента, учитывающего изменение эффективности сельскохозяйственной техники с учетом потребительских свойств

Решение задачи повышение эффективности парка МТП требует изложение структурированию задач в виде определения параметров оптимизации и критериев оптимизации согласно предыдущим исследованиям (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Определение параметров оптимизации, оптимизируемых параметров и критериев оптимизации

Дискретные состояния	Критерии оптимизации				Эффективность	
	КП		ТЭ	ЭП		
	Интервал ТО*	Удельная трудоёмкость ТР				
1	$s_{11} \cdot x_{11}$	$s_{12} \cdot x_{12}$	$s_{13} \cdot x_{13}$	$s_{14} \cdot x_{14}$	d_1	D_s
2	$s_{21} \cdot x_{21}$	$s_{22} \cdot x_{22}$	$s_{23} \cdot x_{23}$	$s_{24} \cdot x_{24}$	d_2	
...		
n	$s_{81} \cdot x_{81}$	$s_{82} \cdot x_{22}$	$s_{83} \cdot x_{83}$	$s_{84} \cdot x_{84}$	d_8	
N	$s_{i1} \cdot x_{21}$	$s_{i2} \cdot x_{22}$	$s_{i3} \cdot x_{i3}$	$s_{i4} \cdot x_{i4}$	d_n	

* оптимизируемый параметр

Оптимизированные параметры:

1) Локальная эффективность МТП в количественных показателях для отдельных дискретных составов, определяемая по нескольким критериям эффективности.

2) Общая (глобальная) эффективность МТП во всех интервалах обратимых дорожных состояний.

Критериями оптимизации являются:

1. Конструктивные параметры (КП). Способность сельскохозяйственной техники к соблюдению технологических требований, определяемых условиями работы (технологические или агротехнические);
2. Техничко-эксплуатационные параметры (ТЭ). Производительность и экономичность техники (техничко-экономические);
3. Эргономические и экологические параметры (ЭП). Свойства, обеспечивающие безопасность и комфорт водителя (общетехнические)

Оптимизируемым показателем является интервал расчётного цикла (РЦ) или интервал полного цикла ТО.

Для определения текущей (фактической) эффективности МТП в отдельных дискретных состояниях создается исходная матрица эффективности, содержащая значения локальных показателей критериев оптимизации в отдельных дискретных состояниях исследуемого процесса.

Пример общего вида матрицы эффективности для восьми локальных дискретных состояний представлен в виде таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Общий вид матрицы эффективностей

Дискретные состояния	КП*	ТЭ	ЭП	D_s
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	d_1
2	a_{21}	a_{22}	a_{24}	d_2
...
8	a_{81}	a_{82}	a_{83}	d_8

* оптимизируемый параметр

Следящий этап – формируются элементы матрицы эффективностей (δ_{ij}) численных значений показателей (таблица 3.2), представленные в относительных единицах, вычисленных по следующей формуле:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}, & \text{если } a_{ij} \rightarrow \max, \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}{a_{ij}}, & \text{если } a_{ij} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (3.31)$$

Далее для каждого дискретного состояния ($n = \overline{1, l}$) решается задача линейного программирования:

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} s_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^m s_j = 1, 0 \leq s_j \leq 1, c_j \geq s_{j+1}, j = \overline{1, m-1}. \end{cases} \quad (3.32)$$

В связи с высокой сложностью расчетных процедур для решения поставленных задач применяется особое программное обеспечение [73]. Результаты расчёта текущей эффективности системы представляются в виде графика (рисунок 3.4).

Результатом оценки эффективности по нескольким критериям оптимизации будет определение величины расхождения между проектными значениями (по одному критерию - d_{ij}^T) и фактическому значению (d_{ij}^a) с учетом актуальных требований среды эксплуатации (эксплуатационные, технико-экономические, безопасности и др.) в (N-1) возрастной группе.

$$\Delta d_{ij} = d_{ij}^T - d_{ij}^a, \quad (3.33)$$

при соблюдении условий:

$$d_i = \sum_{j=1}^m \delta_{ij} s_j \rightarrow \max, \quad (3.34)$$

$$\sum_{j=1}^m c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, \quad (3.35)$$

где

$$s_j^{\max} = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (3.36)$$

где индекс k определяется из условия $\delta_{kj} = \max_j \delta_{ij}$.

Решение задачи оптимизации сводится к нахождению s_{i1} определяющее максимальную эффективность d_n и D_s

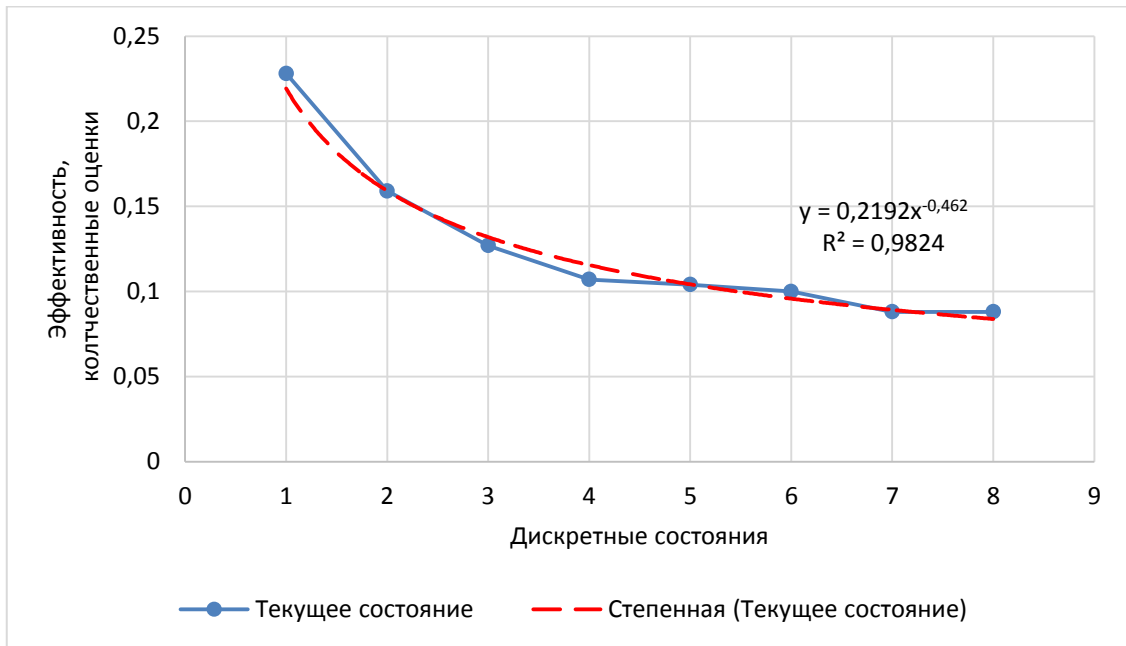


Рисунок 3.4 – Пример графика зависимости текущей эффективности системы для отдельных дискретных состояний

Выводы по третьей главе

В третьей главе разработано:

1. Алгоритм представления показателей ТО и ТР МТП в виде дискретных зависимостей, так как при изменении величины дискретного цикла (ДЦ), в течении которого фиксируются изменения показателей ТО и ТР значения расчётного цикла ТЭ (это как правило срок службы до капитального ремонта) может не совпадать с принятой величиной ДЦ. В этом случае произойдут закономерные изменения в расчёте производственной программы по ТО и ТР, что должно быть учтено при разработке методики управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники. Разработанный алгоритм определения показателей ТО и ТР в виде дискретных зависимостей является важным элементом эффективного управления процессами ТЭ. Представление показателей ТО и ТР в дискретной форме позволяют реализовать комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатели ка-

- чества, базирующиеся на определении коэффициентов технического использования или технической готовности (КТИ или КТГ) в дискретной форме.
2. Разработана методика, позволяющей реализовывать управление возрастной структурой машинно-тракторного парка с учетом потребительских свойств, определяемой дискретной математической моделью изменения номенклатуры показателей ТО и ТР учётом дополнения: три последние группы формализуются с возможностью учётом потребительских свойств единиц МТП, в которых происходит смена информационного состояния исследуемой системы. При этом применяется специализированный математический аппарат принятия решений в условиях неопределенности, а сама задача носит многокритериальный характер.
 3. Математическая модель оценки эффективности по нескольким критериям оптимизации, определяющая величину расхождения между проектными значениями (по одному критерию - d_{ij}^x) и фактическому значению (d_{ij}^a) с учетом актуальных требований среды эксплуатации (эксплуатационные, технико-экономические, безопасности и др.) в (N-1) возрастной группе.


4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА





4.1 Исходные данные для моделирования процесса управления возрастной структурой машинно-тракторного парка





Исходными данными для численного моделирования процесса управления возрастной структурой машинно-тракторного парка являются:

1. Структура МТП по типу
2. Технические и потребительские характеристики транспортно-технологических машин исследуемого МТП (таблица 4.1).
3. Текущее состояние возрастной структуры машинно-тракторного парка (таблица 4.2)
4. Оптимальное состояние возрастной структуры МТП (таблица 4.2)

Таблица 4.1 - Технические и потребительские характеристики единиц техники исследуемого МТП [101]

№	Модель	Характеристики	Внешний вид
1	Case IH Quadtrac 620	Номинальная мощность его двигателя 620 л.с. Площадь контакта почвой - 5,6 м ² . Шарнирное соединение рамы и возможность качания каждой из гусениц на 10° Цена на вторичном рынке 15 – 42 млн руб	

2	New Holland серии T9	Двигатель номинальной мощностью 457... 542 л.с., электронный впрыск Common Rail. Комфортабельная кабина с круговым обзором и шумоизоляцией. Цена 20 млн рублей, вторичном рынке.	
3	John Deere серии 8R	Трактор для тяжелых работ (скорость до 50 км/ч). Кабина CommandView III с сенсорным экраном и расширенным обзором. Двигателем PowerTech с номинальной мощностью 230 – 410 л.с. Грузоподъемность: задней сцепки: 12 т, передней – 5,2 т.	
4	Ростсельмаш RSM 2375	Простота в обслуживании Высокие экономические показатели. Дизельный двигатель Cummins QSM 11 с мощностью 375 л.с. Цене 12...13,5 млн руб.	
5	Terrion ATM 7360	Недорогой трактор, выпускаемый отечественной компанией «Агротехмаш» Адаптирован к сложным климатическим и почвенным условиям. Двигатель - 365 л.с., Цена 4..8 млн. руб.	

6	Кировец К-7 М К-742М	Высокая производи- тельность, маневрен- ность и проходимость, Двигателем 300 ...428 л.с. Грузоподъемность – 9 т, минимальный радиус поворота – 7,9 метров. Цена 9 ... 12 млн руб..	
7	CLAAS AXION 850	(ТО и ТР) Долговеч- ность, надежность и ре- монтопригодностью. Двигатель - 233 л.с CLAAS POWER MANAGEMENT Грузо- подъемность у трактора на передней навеске – 5,4 т., на задней – 10,2. Радиус разворота – 5,19 м Цена 3...7 млн руб.	
8	Massey Ferguson MF6713	Двигатель AGCO мощ- ностью 130 л.с. с низ- ким уровнем шума. Грузоподъемность навески трактора – 5,2 т. Цена до 5,8 млн руб.	
9	Valtra Серии А4	Компактный трактор модульной конструкции Двигатель AGCO Power мощностью от 85...130 л.с. Лучшая эргономи- кой и комфортность в своем классе кабиной. Грузоподъемность – 1,7...3,5 тонны, Цена от 2,5 млн руб.	

10	МТЗ Беларус 82	Универсальность и надежность Мощность 80 л/с, Грузоподъемность трактора – 3,2 т. Радиус поворота – 3,8 м. Цена 1,6...1,8 млн рублей.	
----	-------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

В таблице 4.2 представлены данные по текущему и оптимальному состоянию возрастной структуры машинно-тракторного парка.

Таблице 4.2 - Данные по текущему и оптимальному состоянию возрастной структуры машинно-тракторного парка

Номер группы	Возраст	Возрастная структура	
		Оптимальная	Текущая
1	0 - 6	25	34
2	6 - 12	25	37
3	12 - 18	25	28
4	18 - 24	25	26
5	24 - 30	25	13
6	30 - 36	25	12
7	36 - 42	25	20
8	42 - 48	25	15
9	48 - 54	25	23
10	54 - 60	25	42
11	60 - 66	25	30
12	66 - 72	25	20
Итого		300	300

Из таблицы 4.1 видно, что структура МТП разнородна по типу, а, соответственно по техническим и потребительским характеристикам. Важно от-

метить, что холдинги, включающие группы дочерних предприятий (реже – крупные предприятия АПК), имеют в своем составе от 100 до 400 ед. тракторов, как правило, разнородных не только по маркам и моделям, но и по тяговому классу и назначению, что способствует выполнению большого спектра сельскохозяйственных работ.

С одной стороны, это обстоятельство является неоспоримым преимуществом, но с другой стороны значительно затрудняет расчёт показателей использования МТП и производственной программы по ТО и ТР. Разработанная методика управления возрастной структурой парка МТП позволяет снять данное противоречие, а именно:

1. Разработанный алгоритм позволяет определить эффективность сельскохозяйственной техники с учетом разнородных свойств в количественных оценках (по нескольким критериям эффективности).
2. Постановка задачи оптимизации определяет связь между изменением величины КТИ ($k^{ти}$): $k^{ти}(t) = k_0^{ти} \cdot e^{-\beta t}$, и значениям эффективности, как комплексного показателя качества при эксплуатации машинно-тракторного парка в количественных оценках: $\bar{k}^{ти} = \frac{1 - k_{min}^{ти}}{t^c [1 - \exp(-\beta)]}$ (см. пункт 2.2).
3. Установленная целевая функция (3.23) $\min_{1 \leq j \leq N} \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N+1} x_{ij} \exp(-\beta(i-1)) \rightarrow \max_{\{x_{ij}\}}$ и математическая модель (3.25..3.29) обеспечивает достижение оптимальных значений распределения МТП по возрасту (лет).

4.2 Применение математической модели для оценки эффективности сельскохозяйственной техники по нескольким критериям оптимизации

В данном пункте произведены расчёты по математической модели (ММ) оценки сельскохозяйственной техники по нескольким критериям эффективности, необходимые для формирования оптимальной структуры управления возрастной структурой МТП [102, 103, 104, 105].

1. В таблице 4.3 приведены исходные данные для расчёта эффективности транспортно-технологических машин по 4-м критериям эффективности. Разработанная ММ позволяет решать данную задачу по достаточно большому количеству критериев эффективности и неограниченному количеству вариантов решений.
2. На рисунках 4.1 – 4.5 приведены интерфейсы применения, специализированного ПО для решений многокритериальных задач, позволяющих получать объективные оценки качества эксплуатации сельскохозяйственной техники для оптимального и текущего состояния.

Таблица 4.3 - Исходные данные для расчёта эффективности транспортно-технологических машин по 4-м критериям эффективности

№ модели	Оцениваемые свойства			
	Мощность	Грузоподъемность	Эргономичность и безопасность	Цена, млн. руб.
1	620	23	8	30
2	510	18	8	20
3	390	12	10	15
4	375	10	6	13
5	365	10	6	12
6	350	9	7	10
7	233	8	8	7
8	130	5,2	5	6
9	90	3,5	9	2,5
10	80	3,2	5	1,6

Введите количество критериев (N) Введите количество решений (M)

	K0	K1	K2	K3
D2	390	12	10	15
D3	375	10	6	13
D4	365	10	6	12
D5	350	9	7	10
D6	233	8	8	7
D7	130	5,2	5	6
D8	90	3,5	9	2,5
D9	80	3,2	5	1,6
min-max	max	max	max	min

Рисунок 4.1 – Интерфейс ввода данных (оптимальное решение)

Введите количество критериев (N) Введите количество решений (M)

	K0	K1	K2	K3
D2	0,124	0,118	0,139	0,038
D3	0,119	0,098	0,083	0,044
D4	0,116	0,098	0,083	0,048
D5	0,111	0,088	0,097	0,057
D6	0,074	0,079	0,111	0,082
D7	0,041	0,051	0,069	0,096
► D8	0,029	0,034	0,125	0,229
D9	0,025	0,031	0,069	0,358
min-max	max	max	max	min

Рисунок 4.2 – Интерфейс операции нормирования исходных данных (оптимальное решение)

Введите количество критериев (N) Введите количество решений (M)

	K0	K1	K2	K3
D2	0,124	0,118	0,139	0,038
D3	0,119	0,098	0,083	0,044
D4	0,116	0,098	0,083	0,048
D5	0,111	0,088	0,097	0,057
D6	0,074	0,079	0,111	0,082
D7	0,041	0,051	0,069	0,096
► D8	0,029	0,034	0,125	0,229
D9	0,025	0,031	0,069	0,358
min-max	max	max	max	min

► 1	P1>P2>P3>P4	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10
2	P1>P2>P4>P3	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.09; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10
3	P1>P3>P2>P4	D0=0.15; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10
4	P1>P3>P4>P2	D0=0.15; D1=0.14; D2=0.10; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10
5	P1>P4>P3>P2	D0=0.11; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10
6	P1>P4>P2>P3	D0=0.11; D1=0.10; D2=0.09; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10
7	P2>P1>P3>P4	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10
8	P2>P1>P4>P3	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.09; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10
9	P2>P3>P1>P4	D0=0.17; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10
10	P2>P3>P4>P1	D0=0.17; D1=0.14; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10

Рисунок 4.3 – Интерфейс процедуры расчёта (оптимальное решение)

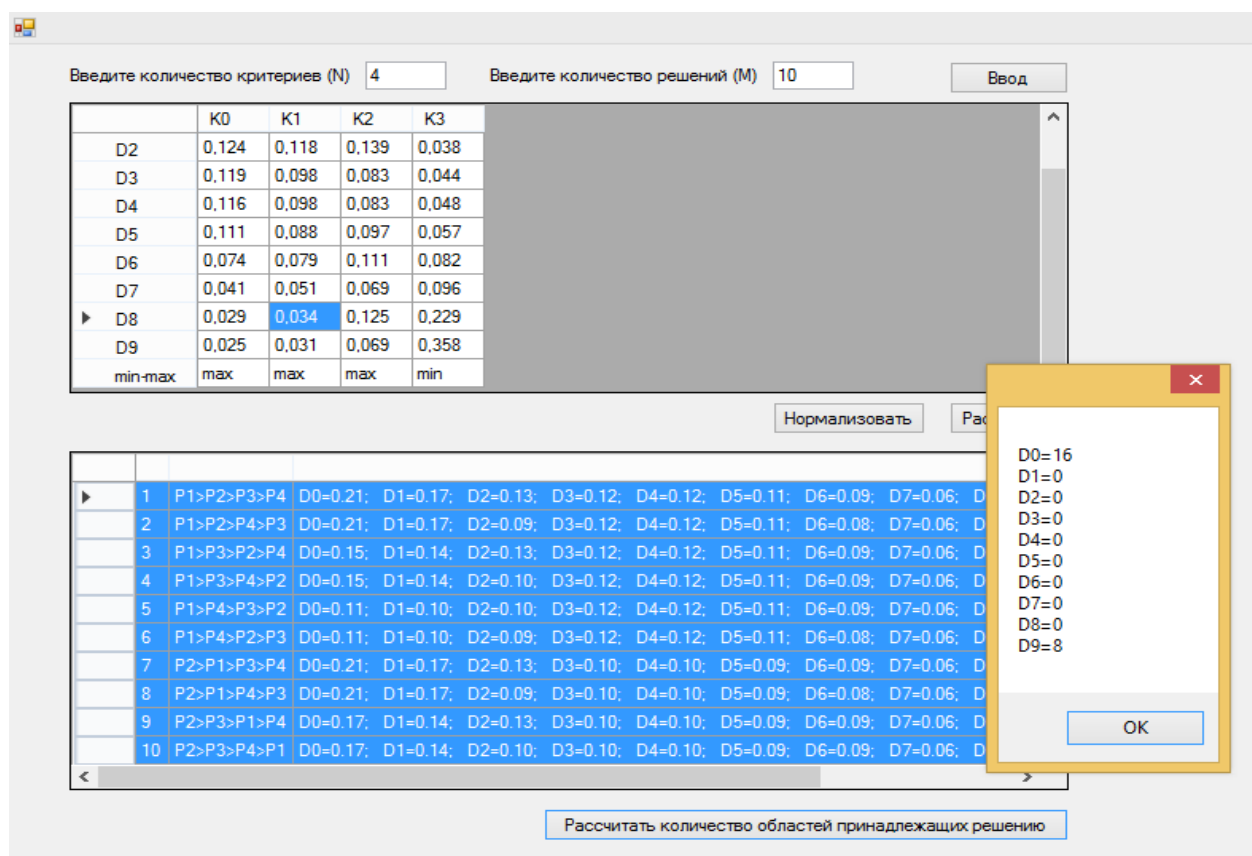


Рисунок 4.4 – Интерфейс вывода полученных результатов (оптимальное решение)

В таблицах 4.4 и 5.5 приведены полные результаты расчёта эффективности транспортно-технологических машин для оптимального и текущего состояния машинно-тракторного парка.

Таблица 4.4 - Полные результаты расчёта эффективности транспортно-технологических машин для оптимального состояния

1	P1>P2>P3>P4	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D0=0,13 8
2	P1>P2>P4>P3	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.09; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D1=0,12 0
3	P1>P3>P2>P4	D0=0.15; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D2=0,10 5
4	P1>P3>P4>P2	D0=0.15; D1=0.14; D2=0.10; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D3=0,08 6
5	P1>P4>P3>P2	D0=0.11; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	D4=0,08 6
6	P1>P4>P2>P3	D0=0.11; D1=0.10; D2=0.09; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	D5=0,08 8
7	P2>P1>P3>P4	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D6=0,08 7
8	P2>P1>P4>P3	D0=0.21; D1=0.17; D2=0.09; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D7=0,06 4

Продолжение таблицы 4.4

9	P2>P3>P1>P4	D0=0.17; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D8=0,104
10	P2>P3>P4>P1	D0=0.17; D1=0.14; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	D9=0,121
11	P2>P4>P3>P1	D0=0.12; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
12	P2>P4>P1>P3	D0=0.12; D1=0.10; D2=0.09; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.09; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
13	P3>P2>P1>P4	D0=0.17; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.08; D4=0.08; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
14	P3>P2>P4>P1	D0=0.17; D1=0.14; D2=0.10; D3=0.08; D4=0.08; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
15	P3>P1>P2>P4	D0=0.15; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.08; D4=0.08; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
16	P3>P1>P4>P2	D0=0.15; D1=0.14; D2=0.10; D3=0.08; D4=0.08; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
17	P3>P4>P1>P2	D0=0.07; D1=0.07; D2=0.10; D3=0.08; D4=0.08; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	
18	P3>P4>P2>P1	D0=0.07; D1=0.07; D2=0.10; D3=0.08; D4=0.08; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	
19	P4>P2>P3>P1	D0=0.12; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.04; D4=0.05; D5=0.06; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
20	P4>P2>P1>P3	D0=0.12; D1=0.10; D2=0.09; D3=0.04; D4=0.05; D5=0.06; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 1	
21	P4>P3>P2>P1	D0=0.07; D1=0.07; D2=0.10; D3=0.04; D4=0.05; D5=0.06; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	
22	P4>P3>P1>P2	D0=0.07; D1=0.07; D2=0.10; D3=0.04; D4=0.05; D5=0.06; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	
23	P4>P1>P3>P2	D0=0.11; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.04; D4=0.05; D5=0.06; D6=0.09; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	
24	P4>P1>P2>P3	D0=0.11; D1=0.10; D2=0.09; D3=0.04; D4=0.05; D5=0.06; D6=0.08; D7=0.06; D8=0.10; D9=0.12; 10	

Таблица 4.5 - Полные результаты расчёта эффективности транспортно-технологических машин для текущего состояния

1	P1>P2>P3>P4	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D0=0,124
2	P1>P2>P4>P3	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D1=0,116
3	P1>P3>P2>P4	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D2=0,106
4	P1>P3>P4>P2	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D3=0,105
5	P1>P4>P3>P2	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D4=0,104
6	P1>P4>P2>P3	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D5=0,103
7	P2>P1>P3>P4	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D6=0,094
8	P2>P1>P4>P3	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	D7=0,085

Продолжение таблицы 4.4

9	P2>P3>P1>P4	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	D8=0,082
10	P2>P3>P4>P1	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	D9=0,081
11	P2>P4>P3>P1	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
12	P2>P4>P1>P3	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
13	P3>P2>P1>P4	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
14	P3>P2>P4>P1	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
15	P3>P1>P2>P4	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	
16	P3>P1>P4>P2	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	
17	P3>P4>P1>P2	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
18	P3>P4>P2>P1	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
19	P4>P2>P3>P1	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
20	P4>P2>P1>P3	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
21	P4>P3>P2>P1	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
22	P4>P3>P1>P2	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10; D9=0.10; 1	
23	P4>P1>P3>P2	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	
24	P4>P1>P2>P3	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06; D9=0.06; 1	

Введите количество критериев (N) Введите количество решений (M)

	K0	K1	K2	K3
D2	0,124	0,100	0,100	0,100
D3	0,119	0,100	0,100	0,100
D4	0,116	0,100	0,100	0,100
D5	0,111	0,100	0,100	0,100
D6	0,074	0,100	0,100	0,100
D7	0,041	0,100	0,100	0,100
D8	0,029	0,100	0,100	0,100
D9	0,025	0,100	0,100	0,100
min-max	max	max	max	min

1	P1>P2>P3>P4	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
2	P1>P2>P4>P3	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
3	P1>P3>P2>P4	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
4	P1>P3>P4>P2	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
5	P1>P4>P3>P2	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
6	P1>P4>P2>P3	D0=0.20; D1=0.16; D2=0.12; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
7	P2>P1>P3>P4	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
8	P2>P1>P4>P3	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.09; D7=0.07; D8=0.06
9	P2>P3>P1>P4	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10
10	P2>P3>P4>P1	D0=0.10; D1=0.10; D2=0.10; D3=0.10; D4=0.10; D5=0.10; D6=0.10; D7=0.10; D8=0.10

Рисунок 4.5 – Интерфейс вывода полученных результатов (текущее состояние)

Таблица 4.6 – Сравнительная таблица результатов расчёта эффективности транспортно-технологических машин при оптимальном и текущем состоянии в количественных оценках

Номер модели	Показатель оптимальный	Показатель текущий
1	0,138	0,124
2	0,120	0,116
3	0,105	0,106
4	0,086	0,105
5	0,086	0,104
6	0,088	0,103
7	0,087	0,094
8	0,064	0,085
9	0,104	0,082
10	0,121	0,081

На рисунке 4.7 представлена сравнительная диаграмма оптимального и текущего состояния эффективности транспортно-технологических машин в количественных оценках.

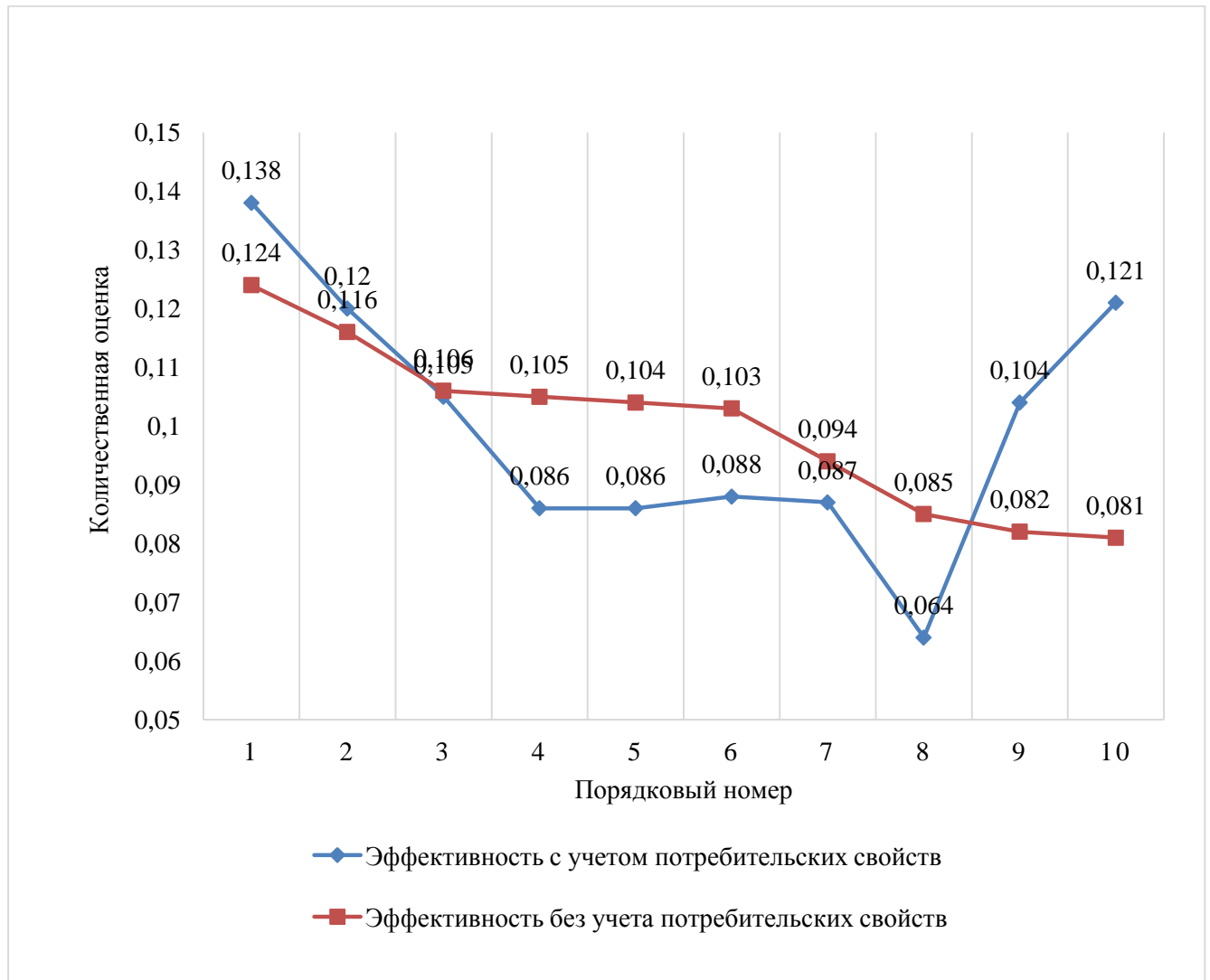


Рисунок 4.7 – Сравнительная диаграмма оптимального и текущего состояния эффективности транспортно-технологических машин в количественных оценках

Из рисунка 4.7 видно, что для различных моделей (от 1 ... до 10) транспортно-технологических машин эффективность в количественных оценках может быть различной, выше или ниже в зависимости от показателей свойств, которые необходимо учитывать. В частности:

- для №1: Эффективность с учетом комплекса потребительских свойств эффективность в количественных оценках увеличивается с 0,24 до 0,138;

- для №2: Эффективность с учетом комплекса потребительских свойств эффективность в количественных оценках снижается с 0,12 до 0,116;

Получение результатов расчёта эффективности транспортно-технологических машин для оптимального и текущего состояния необходимо в качестве исходных данных для следующего шага разработанной методики – формирования оптимальной возрастной структуры парка МТП. А именно, снижение эффективности в количественных оценках говорит о том, что необходимо изменить (увеличивать или уменьшать) величину ДЦ. Снижение эффективности позволяет снизить величину ДЦ, а увеличение, наоборот – увеличить. Количественная оценка изменений определяется по формулам (3.33 ... 3.36). Результаты расчёта представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Количественная оценка изменений эффективности эксплуатации с/х техники

№	Оптимальное состояние d_{ij}	Текущее состояние d_{ij}	Δd_{ij}
1	0,138	0,124	0,014
2	0,12	0,116	0,004
3	0,105	0,106	-0,001
4	0,086	0,105	-0,019
5	0,086	0,104	-0,018
6	0,088	0,103	-0,015
7	0,087	0,094	-0,007
8	0,064	0,085	-0,021
9	0,104	0,082	0,022
10	0,121	0,081	0,04
$\overline{\sum \Delta d_{ij}}$			-0,001

Полученное значение $\overline{\sum \Delta d_{ij}} = 0,001$ свидетельствует о том, что суммарные изменения эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин с учетом нормирования соответствует и перевода в относительные единицы исходных данных определяют возможность 10%-го изменения величины ДЦ.

4.3 Определение стратегий формирования оптимальной возрастной структуры машинно-тракторного парка

В процессе эксплуатации, поступления и списания транспортно-технологических машин возрастная структура МТП меняется. При длительном периоде отсутствия поступления новых транспортно-технологических машин показатели ТЭ падают, а объем ТР возрастает. Наоборот, при интенсивном поступлении новой техники эксплуатационная надежность МТП улучшается и соответственно уменьшается объем ремонтных работ. Следовательно, правильное определение возрастной структуры МТП и её прогнозирование с учетом поступления новых и списания старых транспортно-технологических машин является оптимизационной задачей. Оптимальное решение данной задачи должно обеспечивать равномерную нагрузку на ремонтную зону и стабильность выполнения плана эксплуатации, соответственно равномерную финансовую нагрузку. Решение данной оптимизационной задачи базируется на математической модели, представленной в главе 3 – формулы (3.25) ... (3.29). Дополним постановку задачи рядом условий:

- трактор списывается при достижении установленного возраста списания t_c с учетом изменения в ДЦ, полученных при определении его эффективности в количественных оценках;
- замена списываемых тракторов осуществляется только новыми, имеющими возраст $t=0$;
- каждый трактор переходит в следующую группу с вероятностью близкой к 1;
- глубина прогноза определена установленным временем списания t_c и состоит из N периодов планирования;

При таком планировании определении трактор $(i + 1)$ -ой возрастной группы отличается по возрасту от трактора (i) -ой возрастной группы на величину

$$\Delta t = t_c / N \quad (4.1)$$

Возраст трактора (i) -ой возрастной группы t_i определяется выражением:

$$t_i \in [(i - 1)\Delta t, i\Delta t], \text{ где } i = 1, 2, \dots, N \quad (4.2)$$

То есть, когда списание тракторов и поступление новых происходит только в дискретные моменты времени $i = 1, 2, \dots, N$ – в начале очередного периода планирования. Далее будет произведён расчёт по двум вариантам управления возрастной структурой МТП, включающего 300 транспортно-технологических машин, сохранив неизменными все основные условия постановки задачи:

- 1 стратегия – 12 возрастных групп (таблица 4.2);
- 2 стратегия - к 12 вводится 13-я возрастная группа с учетом изменений, связанных с сокращением ДЦ, когда из 11-й и 12-й возрастных групп трактор либо списывается, либо переходит в 12-ю и 13-ю группы соответственно; а после эксплуатации в рамках 13-й возрастной группы подлежит списанию (таблица 4.9).

Таблице 4.8 – Данные по текущему и оптимальному состоянию возрастной структуры машинно-тракторного парка

Номер группы	Возраст	Возраст	Возрастная структура	
			Оптимальная	Текущая
1	0 - 6	0,5 – 6	25	34
2	6 - 12	6 – 11,5	25	37
3	12 - 18	11,5 – 17	25	28
4	18 - 24	17 – 22,5	25	26
5	24 - 30	22,5 – 27	25	13
6	30 - 36	27 – 33,5	25	12
7	36 - 42	33,5 – 39	25	20
8	42 - 48	39 – 44,5	25	15
9	48 - 54	44,5 – 50	25	23
10	54 - 60	50 – 55,5	25	42
11	60 - 66	55,5 – 61	25	30
12	66 - 72	61 – 66,5	25	20
13		66,5-72	300	300

Таблица 4.9 – Прогнозируемая динамика структуры МТП (Стратегия 1)

Номер груп- пы, i	Возраст, мес.	Возрастная структура		2024 г.		2025 г.		2026 г.		2027 г.		2028 г.		2029 г.	
		оптимальная	сложившаяся на 01.01.24	6 мес	12 мес	18 мес	24 мес	30 мес	36 мес	42 мес	48 мес	54 мес	60 мес	66 мес	72 мес
1	0 - 6	25	34	20	30	42	23	15	20	12	13	26	28	37	34
2	6 - 12	25	37	34	20	30	42	23	15	20	12	13	26	28	37
3	12 - 18	25	28	37	34	20	30	42	23	15	20	12	13	26	28
4	18 - 24	25	26	28	37	34	20	30	42	23	15	20	12	13	26
5	24 - 30	25	13	26	28	37	34	20	30	42	23	15	20	12	13
6	30 - 36	25	12	13	26	28	37	34	20	30	42	23	15	20	12
7	36 - 42	25	20	12	13	26	28	37	34	20	30	42	23	15	20
8	42 - 48	25	15	20	12	13	26	28	37	34	20	30	42	23	15
9	48 - 54	25	23	15	20	12	13	26	28	37	34	20	30	42	23
10	54 - 60	25	42	23	15	20	12	13	26	28	37	34	20	30	42
11	60 - 66	25	30	42	23	15	20	12	13	26	28	37	34	20	30
12	66 - 72	25	20	30	42	23	15	20	12	13	26	28	37	34	20
	$\overline{k}^{\text{ТИ}}$	0,800	0,808	0,801	0,808	0,830	0,826	0,812	0,805	0,787	0,772	0,774	0,779	0,796	0,808

Списание трактора производится при $k^{\text{ТИ}} = 0,600$

Средний реализуемый коэффициент использования $\overline{k}^{\text{ТИ}} = 0,783$

Проанализируем данные, полученные в табл. 4.9. Сравнение данных, приведенных в третьей и четвертой графах таблицы, убеждает, что сложившаяся структура МТП не является оптимальной. На начало прогнозируемого периода и в ближайшие за ним три года сложившаяся структура позволит обеспечивать КТИ на приемлемом уровне (выше установленного целевого значения $KTI = 0,800$). При этом в отдельные периоды превышение работоспособности парка по отношению к целевому показателю будет весьма значительным. Однако начиная с 2027 года начнут проявляться негативные тенденции вследствие отсутствия инструментов оптимизации возрастной структуры МТП. Данные тенденции выражаются в снижении КТИ ниже установленного. При этом перепад значений КТИ в течении прогнозируемого периода составит 7,25 %.

Далее рассчитаем второй вариант решения поставленной задачи с применением разработанной методики. Сохранив неизменными все основные условия эксплуатации в дополнении к 12 вводится 13-я возрастная группа. При этом в соответствии с разработанной математической моделью:

- из 11-й 12-й возрастных групп трактор либо списывается, либо переходит в 12-ю и 13-ю группы соответственно;
- после эксплуатации в рамках 13-й возрастной группы трактор подлежит списанию;
- сложившаяся в АТП на начало планируемого периода возрастная структура соответствует приведенной в таблице 4.9.

Итак, в рассматриваемом примере $N=12$; $\Delta t=6$ мес; $t^c = 72$ мес.

Решение этого примера приведено в таблице 4.10, а оптимальная стратегия управления возрастной структурой представлена в таблице 4.11.

Таблица 4.10 – Прогнозируемая динамика структуры МТП (Стратегия 3)

Номер груп- пы, i	Возраст, мес	Возрастная структура		2024 г.		2025 г.		2026 г.		2027 г.		2028 г.		2029 г.	
		оптимальная	сложившаяся на 01.01.24	6 мес	12 мес	18 мес	24 мес	30 мес	36 мес	42 мес	48 мес	54 мес	60 мес	66 мес	72 мес
1	0,5 – 6	25	34	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
2	6 – 11,5	25	37	34	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
3	11,5 – 17	25	28	37	34	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
4	17 – 22,5	25	26	28	37	34	25	25	25	25	25	25	25	25	25
5	22,5 – 27	25	13	26	28	37	34	25	25	25	25	25	25	25	25
6	27 – 33,5	25	12	13	26	28	37	34	25	25	25	25	25	25	25
7	33,5 – 39	25	20	12	13	26	28	37	34	25	25	25	25	25	25
8	39 – 44,5	25	15	20	12	13	26	28	37	34	25	25	25	25	25
9	44,5 – 50	25	23	15	20	12	13	26	28	37	34	25	25	25	25
10	50 – 55,5	25	42	23	15	20	12	13	26	28	37	34	25	25	25
11	55,5 – 61	25	30	42	23	15	20	12	13	26	28	37	34	25	25
12	61 – 66,5	25	20	25	42	23	15	20	12	-	1	4	16	25	25
13	66,5-72	-	-	-	-	17	15	5	-	-	-	-	-	-	-
	$\bar{h}^{ТИ}$	0,800	0,808	0,807	0,807	0,807	0,808	0,809	0,809	0,807	0,805	0,803	0,801	0,800	0,800

Таблица 4.11 – Оптимальная стратегия управления возрастной структурой МТП
(Стратегия 2)

Планируемый год	Прогнозируемый период, мес	Поставки новых единиц техники	Списание старых тракторов		
			11-я группа	12-я группа	13-я группа
2024	6	25	5	20	-
	12	25	-	25	-
2025	18	25	-	25	-
	24	25	-	8	17
2026	30	25	-	10	15
	36	25	-	20	5
2027	42	25	13	12	-
	48	25	25	-	-
2028	54	25	24	1	-
	60	25	21	4	-
2029	66	25	9	16	-
	72	25	-	25	-
Итого:		300	97	166	37

Проанализируем полученные результаты. Для приведения сложившейся возрастной структуры МТП к оптимальному виду потребуется 5,5 года (66 мес). Ежегодно должно приобретаться 50 новых транспортно-технологических машин (по 25 каждые полгода). Списание старых транспортно-технологических машин должно осуществляться их трех последних возрастных групп:

- 97 из 11-й возрастной группы,
- 166 из 12-й и 37 из 13-й возрастной группы.
- эксплуатация техники, дополнительно введенной 13-й группы потребует только на протяжении 1,5 года и лишь для 37 транспортно-технологических машин.
- списание из 11-й группы будет осуществляться в общей сложности в течение трех лет.

За время эксплуатации транспортно-технологических машин ожидаемое значение коэффициента технического использования парка ни разу не должно опуститься ниже нормативного $\bar{k}^{\text{ти}} = 0,800..$

Ожидаемое максимальное значение этого коэффициента будет достигнуто в 2026 года и составит $k^{тн} = 0,809$ (или 101,13% от нормативного). Следовательно, перепад в уровне работоспособности парка за прогнозируемый период не превысит 1,13%, что свидетельствует о весьма ритмичной ожидаемой производительности предприятия, эксплуатирующего транспортно-технологических машины.

Начиная со второй половины 2029 года будет достигнута оптимальная возрастная структура МТП, для поддержания которой необходимо каждые полгода списывать 25 тракторов из 12-й возрастной группы и приобретать такое же количество новых.

Разработанная методика управления возрастной структурой МТП позволяет не только выравнять возрастную структуру, но и решать данную задачу с учетом установленного целеполагания – равномерного повышения показателей использования транспортно-технологических машин, если они находятся на низком уровне. Приведем численную модель решения данной задачи. Исходные данные о структуре МТП приведены в таблице 4.12 в столбце (текущая 2).

Таблице 4.12 – Данные по текущему и оптимальному состоянию возрастной структуры машинно-тракторного парка

Номер группы	Возраст	Возраст	Возраст	Возрастная структура		
				Оптимальная	Текущая 1	Текущая 2
1	0 - 6	0,5 – 6	2-7	25	34	10
2	6 - 12	6 – 11,5	7-12	25	37	13
3	12 - 18	11,5 – 17	12-17	25	28	8
4	18 - 24	17 – 22,5	17-22	25	26	25
5	24 - 30	22,5 – 27	22-27	25	13	19
6	30 - 36	27 – 33,5	27-32	25	12	45
7	36 - 42	33,5 – 39	32-37	25	20	38
8	42 - 48	39 – 44,5	37-42	25	15	32
9	48 - 54	44,5 – 50	42-47	25	23	37
10	54 - 60	50 – 55,5	47-52	25	42	30
11	60 - 66	55,5 – 61	52-57	25	30	23
12	66 - 72	61 – 66,5	57-62	25	20	20
13		66,5-72	62-67			
14			67-72			

Для приведения МТП сложившейся возрастной структуры к оптимальному виду (в отличие от структуры, реализуемой при стратегии 2) недостаточно 13 возрастных групп. Приходится вводить еще одну дополнительную (14-ю) возрастную группу. Сохраним условия, описанные предыдущих стратегиях, за исключением сложившейся возрастной структуры МТП. Для выравнивания возрастной структуры воспользуемся вновь рекуррентными соотношениями (3.25 ... 3.29). Результаты решения новой стратегии (стратегия 3) представлены в таблице 4.13, а оптимальная стратегия управления возрастной структурой МТП — в таблице 4.14.

Проанализируем полученные результаты. В целом для приведения возрастной структуры к оптимальному виду МТП сельскохозяйственного предприятия потребуется 72 мес. (6 лет). Ежегодно предприятие должно приобретать 50 новых тракторов (по 25 каждые полгода). Списание старых машин должно осуществляться из четырех последних возрастных групп: 14 из 11-й возрастной группы, 119 – из 12-й, 97 – из 13-й и 70 – из 14-й группы. Эксплуатация в дополнительных 13-й и 14-й группах потребуется на протяжении соответственно 3,5 и 2,5 года. Списание из 11-й возрастной группы будет осуществляться на протяжении 1,5 года.

Ожидаемое значение коэффициента технического использования парка МТП на протяжении всего планируемого периода будет постоянно возрастать (от 0,772 до 0,800).

К концу планируемого периода этот коэффициент достигнет значения, равного нормативному $\bar{k}^{\text{ти}} = 0,800..$

К этому моменту возрастная структура парка будет соответствовать оптимальной, а для ее поддержания в дальнейшем потребуется каждые полгода списывать 25 и приобретать такое же количество транспортно-технологических машин. Изменения значений КТИ в случае применения разработанной методики приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Прогнозируемая динамика структуры МТП (Стратегия 3)

Номер группы, i	Возраст, мес	Возрастная структура		2024 г.		2025 г.		2026 г.		2027 г.		2028 г.		2029 г.	
		оптимальная	текущая	6 мес	12 мес	18 мес	24 мес	30 мес	36 мес	42 мес	48 мес	54 мес	60 мес	66 мес	72 мес
1	2-7	25	10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
2	7-12	25	13	10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
3	12-17	25	8	13	10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
4	17-22	25	25	8	13	10	25	25	25	25	25	25	25	25	25
5	22-27	25	19	25	8	13	10	25	25	25	25	25	25	25	25
6	27-32	25	45	19	25	8	13	10	25	25	25	25	25	25	25
7	32-37	25	38	45	19	25	8	13	10	25	25	25	25	25	25
8	37-42	25	32	38	45	19	25	8	13	10	25	25	25	25	25
9	42-47	25	37	32	38	45	19	25	8	13	10	25	25	25	25
10	47-52	25	30	37	32	38	45	19	25	8	13	10	25	25	25
11	52-57	25	23	30	37	32	38	45	19	25	8	13	10	25	25
12	57-62	25	20	18	23	35	32	38	45	19	25	8	13	10	25
13	62-67	-	-	-	-	-	10	17	30	45	19	25	8	13	-
14	67-72	-	-	-	-	-	-	-	-	5	25	19	19	2	-
	$\bar{k}^{\text{ти}}$	0,800	0,772	0,773	0,773	0,774	0,776	0,777	0,780	0,783	0,786	0,790	0,794	0,798	0,800

Таблица 4.14 – Оптимальная стратегия управления возрастной структурой МТП
(Стратегия 3)

Планируемый год	Прогнозируемый период, мес	Поставки новых транспортно-технологических машин	Списание старых транспортно-технологических машин			
			11-я группа	12-я группа	13-я группа	14-я группа
2024	6	25	5	20	-	-
	12	25	7	18	-	-
2025	18	25	2	23	-	-
	24	25	-	25	-	-
2026	30	25	-	15	10	-
	36	25	-	8	17	-
2027	42	25	-	-	25	-
	48	25	-	-	20	5
2028	54	25	-	-	-	25
	60	25	-	-	6	19
2029	66	25	-	-	6	19
	72	25	-	10	13	2
Итого:		300	14	119	97	70

Результаты апробации методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка модельного предприятия (холдинга) представлены в таблице 4.15 и на рисунке 4.8.

Таблица 4.15 – Изменение значений КТИ в случае применения разработанной методики управления возрастной структурой МТП

Возраст, мес.	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
Стратегия 1	0,801	0,808	0,830	0,826	0,812	0,805	0,787	0,772	0,774	0,779	0,796	0,808
Стратегия 2	0,807	0,807	0,807	0,808	0,809	0,809	0,807	0,805	0,803	0,801	0,800	0,800
Стратегия 3	0,773	0,773	0,774	0,776	0,777	0,780	0,783	0,786	0,790	0,794	0,798	0,800

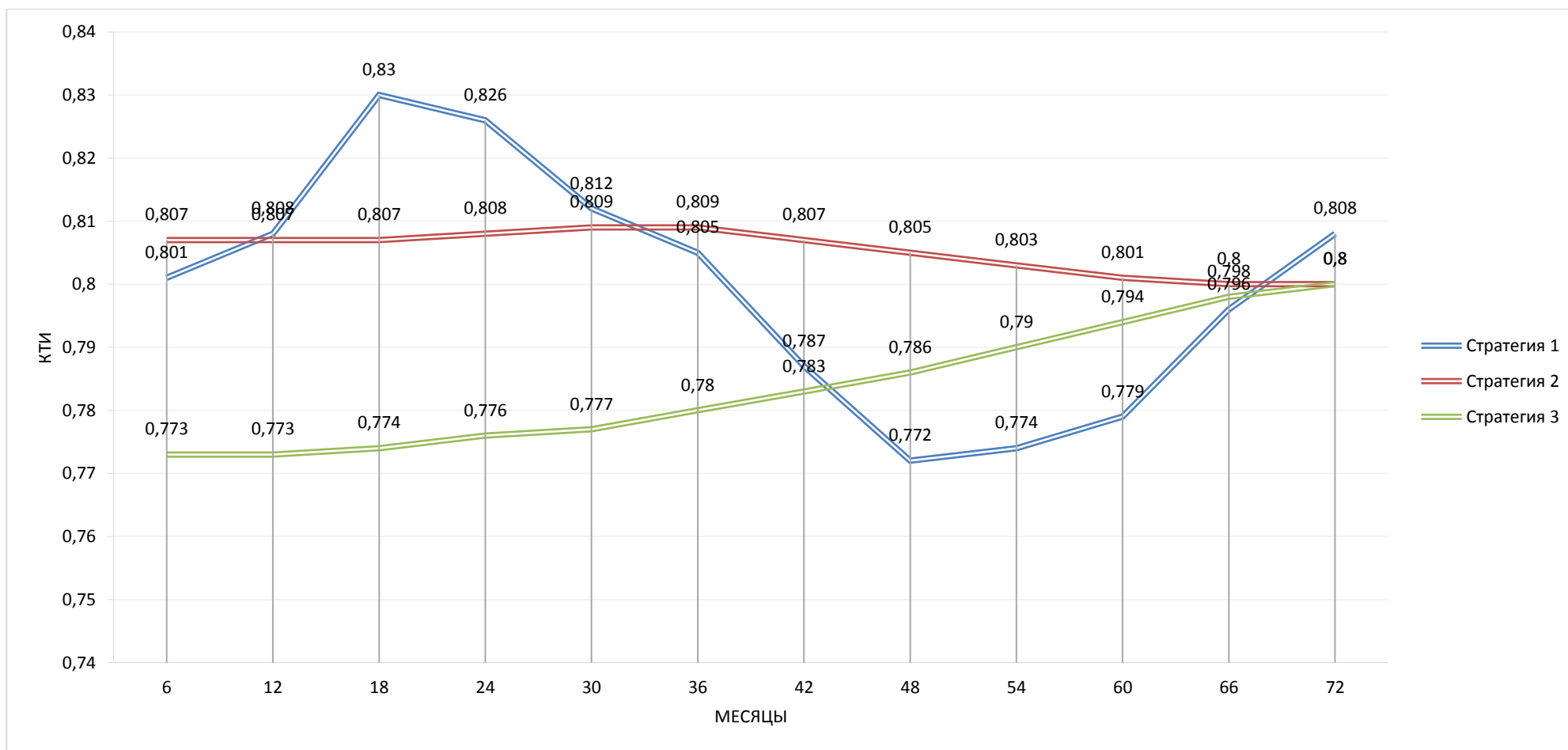


Рисунок 4.8 – Изменение значений КТИ в случае применяя разработанной методики управления возрастной структурой МТП

Выводы по четвертой главе

В четвертой главе с помощью разработанной методики управления возрастной структурой МТП определена эффективность транспортно-технологических машин с учетом разнородных свойств в количественных оценках (по нескольким критериям эффективности).

На основании установленной целевой функции и разработанной математической модели произведена апробация результатов исследования, обеспечивающих достижение оптимальных значений распределения МТП по возрасту.

Произведенные расчёты по разработанной математической модели оценки транспортно-технологических машин с учетом нескольких критериев эффективности, необходимых для формирования оптимальной структуры управления возрастной структурой МТП, позволили определить, что эффективность исследуемого машинно-тракторного парка модельного предприятия (холдинга), включающего 300 единиц, с учетом комплекса потребительских свойств в количественных оценках снижается с 0,12 до 0,116. Получение результатов расчёта эффективности транспортно-технологических машин для формируемого и текущего состава парка были использованы для определения оптимальной возрастной структуры МТП. А именно, снижение эффективности в количественных оценках говорит о том, что необходимо и возможно уменьшать величину ДЦ. Условием решения оптимизационной задачи является обеспечение равномерной нагрузки на ремонтную зону и стабильность выполнения плана по эксплуатации транспортно-технологических машин.

Анализ полученных результатов сформированной стратегии управления ВСМТП показал, что для приведения сложившейся возрастной структуры МТП к оптимальному виду потребуется 5,5 года (66 мес). При этом ежегодно должно приобретаться 50 новых транспортно-технологических машин (по 25 каждые полгода).

За время эксплуатации техники в соответствии разработанной стратегией управления ВСМТП ожидаемое значение коэффициента технического использования машинно-тракторного парка ни разу опустится ниже установленного ограничения $\bar{k}^{\text{ти}} = 0,800$.

Ожидаемое максимальное значение этого коэффициента будет достигнуто в 2026 году и составит $k^{\text{ти}} = 0,809$ (или 101,13% от нормативного). Следовательно, перепад в уровне работоспособности парка за прогнозируемый период не превысит 1,13%, что свидетельствует о весьма ритмичной ожидаемой производительности предприятия, эксплуатирующего транспортно-технологические машины.

Разработанная методика управления возрастной структурой МТП позволяет не только выравнять возрастную структуру, но и решать данную задачу с учетом установленного целеполагания – равномерного повышения показателей использования транспортно-технологических машин, если они находятся на низком уровне. Применение разработанной модели для формирования **стратегии равномерно повышающей КТИ** с применением методов численного моделирования подтвердило, что оптимизационная модель может позволить сформировать МТП с ожидаемым увеличением коэффициента технического использования на протяжении от 0,772 до 0,800. К концу планируемого периода этот коэффициент достигнет значения, равного установленному $\bar{k}^{\text{ти}} = 0,800$.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРОЙ МАШИННО- ТРАКТОРНОГО ПАРКА

5.1. Программно-аппаратное обеспечение управления возрастной структурой машинно-тракторного парка

Большое разнообразие типов и классов транспортно-технологических машин, входящих в состав машинно-тракторных парков значительно затрудняет расчёт показателей использования МТП и производственной программы по ТО и ТР. Разработанная методика управления возрастной структурой парка МТП позволяет снять данное противоречие и математическая модель оценки сельскохозяйственной техники по нескольким критериям эффективности, необходимые для формирования оптимальной структуры управления возрастной структурой нашла практическое применение в виде специализированного программного обеспечения для решения многокритериальных задач, позволяющих получать объективные оценки эксплуатационных качеств сельскохозяйственной техники для оптимального и фактического текущего состава.

Внедрение разработанного программного обеспечения в агрохолдинге или сельскохозяйственном предприятии предполагает решение следующих задач, требующих определённых затрат:

- приобретение компьютеров и коммутационных устройств;
- подключение к сети интернет;
- приобретение основного программного обеспечения - операционная система Windows, офисные программы и антивирус;
- приобретение специализированного ПО и его настройка;

- интеграция специализированного ПО с системами спутникового мониторинга;
- консультирование пользователей специализированного ПО;

Предполагается приобретение одного персонального компьютера (ноутбука) для инженера по сервису машин. Локальная сеть инженерной службы предприятия и коммутационные устройства здесь не требуются. В качестве специализированного ПО используется разработанная нами компьютерная программа «УВСМТП», которая имеет фиксированную стоимость, при этом потребителю выдается лицензия на неограниченное количество пользователей программы внутри одного предприятия. Ежегодно предприятием возможны дополнительные затраты, связанные с информационной поддержкой программы - в среднем до 2 тыс. руб.

Применение специализированного программного обеспечения для организации технического обслуживания в сельскохозяйственном предприятии целесообразно, если полученная экономическая эффективность превысит затраты на приобретение информационных технологий.

Экономическая эффективность, прежде всего, вызвана снижением затрат на ремонт техники за счет своевременности проведения ТО и соблюдении регламентов ППСТО. По данным [106] своевременность постановки на ТО сельскохозяйственной техники позволяет снизить затраты на ремонт машин на 3-5%. Программа позволяет рассчитать оптимальный срок службы работы тракторов до их списания, не перерасходуя ресурсы на отработавшую технику. Величина снижения затрат на ремонт будет определять экономический эффект от внедрения ПО.

Предлагаемым программным обеспечением может пользоваться штатный инженер предприятия, поэтому дополнительный сотрудник не требуется. Отсюда, затраты на внедряемую систему определяются по формуле [25]:

$$\sum Z_{об} = Z_{ПК} + Z_{ПО} + Z_{СПО} + Z_{ИОК} + Z_{ИИТ} + Z_M + Z_{ЭЛ}, \quad (5.1)$$

где $Z_{ПК}$ - затраты на приобретение компьютеров и программного обеспечения, руб.;

$Z_{\text{ПО}}$ - затраты на основное лицензионное ПО, руб.;

$Z_{\text{СПО}}$ - затраты на приобретение специализированного ПО и его адаптацию к условиям предприятия, руб.;

$Z_{\text{ИОК}}$ - стоимость информационного обслуживания специализированного ПО и консультирование пользователей, руб.;

$Z_{\text{ИНТ}}$ - затраты на подключение к сети интернет;

$Z_{\text{М}}$ - затраты на обновления ПО, руб.;

$Z_{\text{ЭЛ}}$ - затраты на потребляемую компьютером электроэнергию, руб.

Выполним расчёт затрат по годам на внедрение программного обеспечения в предприятие (табл. 5.1). Учитываем срок использования ПО без возможных обновлений в течение 5 лет. Стоимость необходимых составляющих для внедрения ПО определяем исходя из прайс-листов интернет-магазинов [107].

Таблица 5.1 – Расчёт затрат на внедрение программы «УВСМТП» на предприятии

Вид затрат	Затраты на 5 лет, руб.
Ноутбук инженера по сервису + принтер	90000
MS Windows 11 Pro со встроенной антивирусной программой	1500
MS Office 2019 Professional Plus	3700
Автопродление антивирусной программы	11400
Программа «УВСМТП»	35000
Сопровождение обслуживания спец. программы	132000
Электричество	6852
Затраты на Интернет (USB-модем + ежемесячная оплата)	43200
Всего затрат на ИТ технологии	323652

Стоимость затрат на ПО составляет 323652 руб., также учитываем стоимость техники (таблица 5.1) в размере 136200000 руб. и суммарно получаем 136 523 652 руб. на единовременные затраты.

5.2. Методика расчета эффективности использования программно-аппаратного обеспечения управлением возрастной структурой машинно-тракторного парка

Методика расчета экономической эффективности предприятия характеризуется стабильностью технико-экономических показателей (объем производства, показателей качества, затрат и результатов работы) по годам расчетного периода, расчет экономического эффекта проводим по формуле [108, 109]:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{Z}_{Г.баз.} - \mathcal{Z}_{Г.проект.} \quad (5.2)$$

где $\mathcal{Z}_Г$ - неизменные по годам затраты

Эффективность внедрения предлагаемого программного обеспечения оценивается следующим образом: определение ценности и срока окупаемости ПО производится с учетом коэффициента дисконтирования [110].

Годовые текущие издержки определяем по формуле

$$I_G = \Phi OT + \mathcal{Z}_{ГСМ} + \mathcal{Z}_{ТОР} + Pr, \quad (5.3)$$

где ΦOT – затраты на оплату труда инженеров, механизаторов и ремонтных рабочих, руб.

$\mathcal{Z}_{ГСМ}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб.

$\mathcal{Z}_{ТОР}$ – затраты на ТО и ремонт подвижного состава, руб.

Pr – прочие затраты, принимаем равными 5% от суммы всех затрат, руб.

Расчет заработной платы механизаторов. Дневную заработную плату вычисляем по формуле:

$$ЗП = ЗП_о + ЗП_д + (ЗП_о + ЗП_д) \cdot 0,3, \quad (5.4)$$

где $ЗП_о$ – основная заработная плата водителя, руб.;

$ЗП_д$ – дополнительная заработная плата, учитывает надбавки и доплаты, принимаем равной 25% от основной заработной платы, согласно методике [108, 110], руб.;

0,3 – коэффициент, учитывающий затраты на социальное страхование.

Основную зарплату за смену рассчитываем по формуле:

$$ЗП = (T_H + T_{ЗП} + T_{МЕД}) \cdot C_ч + П, \quad (5.5)$$

где T_H – нормативное время на установленное сменное задание, ч, $T_H = 8$ ч;
 $T_{ЗП}$ – подготовительно-заключительное время на смену, $T_{ЗП} = 0,3$ ч;
 $T_{МЕД}$ – время предрейсового медосмотра, $T_{МЕД} = 5$ мин = 0,083 ч;
 $C_ч$ – средняя часовая тарифная ставка механизатора, $C_ч = 305$ руб., по данным предприятия;

$П$ – премия за выполнение нормированных заданий и других установленных показателей премирования, составляет 30%, руб.,

Заработная плата и фонд оплаты труда механизаторов после установки системы наддува остались прежними и составляют:

$$ЗП_о = [(8 + 0,3 + 0,083) \cdot 305] \cdot 1,30 = 3324 \text{ руб.}$$

$$ЗП_д = 3324 \cdot 0,25 = 831 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{сМ} = 3324 + 831 + (3324 + 831) \cdot 0,3 = 5402 \text{ руб.}$$

Годовой фонд оплаты труда механизаторов определим из соотношения:

$$\Phi OT_{мех} = ЗП_{сМ} \cdot D_p \cdot N_B, \quad (5.6)$$

где D_p – дней работы в году на 1 механизатора, $D_p = 247$ дней [108, 110];

N_B – численность механизаторов, $N_B = 300$ человек.

Подставив значения в формулу (5.6), получим годовой фонд оплаты труда:

$$\Phi OT_{мех} = 5402 \cdot 247 \cdot 300 = 400\,288\,200 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы ремонтных рабочих. Дневную заработную плату ремонтных рабочих вычисляем по формуле (5.5)

Основную заработную плату за смену рассчитываем по формуле:

$$ЗП_о = C_ч \cdot T_H, \quad (5.7)$$

где T_H – нормативное время на установленное сменное задание, ч, $T_H = 7$ ч;

$C_ч$ – часовая тарифная ставка ремонтного рабочего VI разряда, $C_ч = 270$ руб. по статистическим данным агентства Работа.ру по Московской области;

Заработная плата и фонд оплаты труда ремонтных рабочих после внедрения ПО остались прежними и составляют:

$$ЗП_0 = 270 \cdot 7 = 1890 \text{ руб.}$$

$$ЗП_д = 1890 \cdot 0,25 = 473 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{см} = 1890 + 473 + (1890 + 473) \cdot 0,3 = 3072 \text{ руб.}$$

Годовой фонд оплаты труда ремонтников определим из выражения:

$$\Phi OT_{p.p.} = ЗП_{см} \cdot D_p \cdot N_{p.p.}, \quad (5.8)$$

где D_p – дней работы в году на 1 ремонтного рабочего, $D_p = 247$ дней;

$N_{p.p.}$ – численность ремонтных рабочих, $N_{p.p.} = 36$ человек;

$$\Phi OT_{p.p.} = 3072 \cdot 247 \cdot 36 = 2731622 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы инженерно-технических работников и вспомогательного персонала. Дневную заработную плату вычисляем по формуле (5.3). Основную заработную плату за смену рассчитываем по формуле (5.6), часовую тарифную ставку принимаем равной 290 руб по статистическим данным агентства Работа.ру на примере Московской области в сельском хозяйстве.

Заработная плата и фонд оплаты труда ИТР составляют:

$$ЗП_0 = 290 \cdot 7 = 2030 \text{ руб.}$$

$$ЗП_д = 2030 \cdot 0,25 = 508 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{см} = 2030 + 508 + (2030 + 508) \cdot 0,3 = 3300 \text{ руб.}$$

Годовой фонд оплаты труда ИТР определим из выражения (5.7), численность ИТР и вспомогательный персонал составляет $N_{ИТР} = 6$ человек;

$$\Phi OT_{ИТР} = 3300 \cdot 247 \cdot 6 = 4890600 \text{ руб.}$$

$$\Phi OT_{общ} = 400288200 + 27316224 + 4890600 = 432495024 \text{ руб.}$$

Затраты на топливо. Затраты на топливо зависят от мото-часов тракторов. Потребность в топливе рассчитываем по формуле:

$$Q_{Ti} = \frac{Q_i \cdot n_i \cdot m}{W}, \quad (5.8)$$

где Q_i – мото-часы i -й группы тракторов; $Q_i = 1000$ мото-час.

m – количество i -ой марки тракторов;

n_{1i} – норма часового расхода топлива i -ой марки тракторов, л/час.

Согласно данным источников [111, 112] W – удельная часовая производительность трактора, га/час; $W = 0,7$ га/час, согласно источнику [113]

Затраты на топливо определим по формуле:

$$Z_T = Q_T \cdot C_T, \quad (5.9)$$

где C_T – цена топлива за 1 литр: $C_{dT} = 59,9$ руб. по данным Лукойл.

Таблица 5.2 – Определение затрат на топливо

Расход топлива, кг/ч	Количество, шт.	Наработка, мото-час	Потребность в топливе	Затраты на топливо, руб.
52	30	1000	2228571	133491429
88	15	1000	1885714	112954286
34	15	1000	728571	43641429
38	50	1000	2714286	162585714
32	40	1000	1828571	109531429
34	20	1000	971429	58188571
40	15	1000	857143	51342857
28	25	1000	1000000	59900000
14	50	1000	1000000	59900000
22	40	1000	1257143	75302857
-	$\Sigma 300$	-	$\Sigma 14471429$	$\Sigma 866838571$

$$Z_T^{\text{баз}} = 866838571 \text{ руб.}$$

Затраты на топливо в проектируемом варианте уменьшаться на 10 % за счет применения модели управления возрастной структурой парка МТП на базе дискретных форм представления показателей ТО и ТР и составят:

$$Z_T^{\text{проект}} = 866838571 \cdot 0,9 = 780154714 \text{ руб.}$$

Затраты на моторные масла. Затраты на моторное масло принимаем равными 10 % от затрат на топливо [108]:

$$Z_{CM} = 0,1 \cdot Z_T, \quad (5.10)$$

$$Z_{CM}^{\text{баз}} = 866838571 \cdot 0,1 = 86\,683\,857,1 \text{ руб.}$$

$$Z_{CM}^{\text{проект}} = 780154714 \cdot 0,1 = 78\,015\,471,4 \text{ руб.}$$

Затраты на другие виды смазочных материалов включаем в статью прочие расходы.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт тракторов. В проектном варианте можно ожидать 10 % снижения затрат на ТО и ремонт за счёт алгоритма определения показателей ТО и ТР в виде дискретных зависимостей. Представление показателей ТО и ТР в дискретной форме позволяют реализовать комплексные показатели надёжности сельскохозяйственной техники – показатели качества, базирующиеся на определении коэффициентов технического использования или технической готовности (КТИ или КТГ) в дискретной форме.

Оценим эффективность использования ПО после внедрения автоматизированного ПО в предприятие с модельным парком машин, представленным в таблице 5.2. Для этого выполним расчет затрат на ремонт заданного парка машин до и после внедрения ПО. Затраты на ремонт мобильных машин определяются по формуле [114]:

$$P = \frac{B_M \cdot P_{\%M}}{100}, \text{ руб.} \quad (5.2)$$

где P - размер отчислений на ремонт в течение года, руб.;

B_M - балансовая стоимость машины, руб.;

$P_{\%M}$ - норма отчислений на ремонт в течение года, %.

Нормы отчислений на ремонт принимаем по данным источника [СО 34.20.611-2003 Нормативы затрат на ремонт в процентах от балансовой стоимости конкретных видов основных средств [115].

Балансовую стоимость указанных марок машин определяем по прайс-листам торгующих организаций [116, 117].

Результаты расчетов затрат на ремонт по мобильной сельскохозяйственной технике предприятия сводим в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 - Затраты на ремонт мобильной техники в предприятии

Марка машины	Балансовая стоимость, руб.	Количество, шт.	Норматив затрат на ремонт, %	Затраты на ремонт до внедрения «УВСМТП», руб.	Затраты на ремонт после внедрения «УВСМТП», руб.	Экономия затрат, руб.
Кировец К-742М	9900000	50	8,94	26551800	23896620	2655180
Case IH Quadtrac 620	42000000	15	8,94	56322000	50689800	5632200
New Holland серии Т9	20000000	15	8,94	26820000	24138000	2682000
John Deere серии 8R	29000000	50	8,94	129630000	116667000	12963000
Ростсельмаш RSM 2375	13000000	40	7,35	38220000	34398000	3822000
Terrion ATM 7360	6000000	20	7,35	8820000	7938000	882000
CLAAS AXION 850	7000000	15	7,35	7717500	6945750	771750
Massey Ferguson MF6713	5500000	25	7,35	10106250	9095625	1010625
Беларус 82.1	1300000	50	6,38	4147000	3732300	414700
Valtra Серии А4	2500000	20	6,38	3190000	2871000	319000
Всего	136200000	300	-	311524550	280372095	31152455

Подставив все рассчитанные данные в формулу (5.3), получаем годовые издержки:

$$I_{Г}^{баз} = (432495024 + 953522428 + 311524550) \cdot 1,05 = 1782419102 \text{ руб.}$$

$$I_{Г}^{проект} = (432495024 + 858170186 + 280372095) \cdot 1,05 = 1649589170 \text{ руб.}$$

Общие затраты составят: В базовом варианте единовременные затраты отсутствуют, поэтому затраты будут равны издержкам:

$$З_{Г}^{баз} = 1782419102 \text{ руб.}$$

А в проектном составят:

$$З_{Г}^{проект} = 1649589170 + 323652 = 1649912822 \text{ руб.}$$

Расчет годовой экономии. Подставив полученные значения в формулу 5.2, получим следующую годовую экономию от проведенных мероприятий:

$$\mathcal{E}_T = 1782419102 - 1649912822 = 132506280 \text{ руб.}$$

Расчет срока окупаемости. Срок окупаемости определим по формуле [118]:

$$T_o = \frac{K}{\mathcal{E}_T}, \quad (5.18)$$

где \mathcal{E}_T – экономический эффект от проведенных мероприятий, руб.

Подставим значения в формулу и получаем:

$$T_o = \frac{136523652}{132506280} = 1,0 \text{ год.}$$

Следовательно, наши единовременные затраты вполне оправданы.

Таблица 5.4 – Результаты экономического расчёта

№	Наименование показателя	Значение	
		Базовый вариант	Проектируемый вариант
1	Единовременные затраты, руб.	-	136 523 652
3	Фонд оплаты труда механизаторов, руб.	400 288 200	400 288 200
4	Фонд оплаты труда ремонтных рабочих, руб.	27 316 224	27 316 224

Продолжение таблицы 5.4

5	Фонд оплаты труда инженерно-технических работников и вспомогательного персонала, руб.	489 600	489 600
6	Затраты на топливо, руб.	866 838 571	780 154 714
7	Затраты на смазочные материалы, руб.	86 683 857	78 015 471
8	Затраты на техническое обслуживание и ремонт МТП, руб.	311524550	280372095
9	Экономия затрат на техническое обслуживание и ремонт МТП, руб.	-	31152455
10	Издержки годовые, руб.	1 782 419 102	1 649 589 170
10	Общие затраты, руб.	1 782 419 102	1 649 912 822
12	Годовая экономия с обслуживания МТП, руб.	-	132 506 280
13	Срок окупаемости, лет	-	1,0

Как уже отмечалось ранее ежегодные потери урожая по данной причине составляют от 10 до 15%. Соответственно до внедрения ПО суммарная урожайность культур 1700 ц/га, как представлено на рисунке 5.1. На рисунке 5.2 представлена урожайность культур после внедрения ПО, которая составляет 1898 ц/га.

Вывод по пятой главе

Из расчета экономической эффективности видно, что целесообразно внедрить программное обеспечение по управлению возрастной структурой машинотракторного парка. Экономия затрат на техническое обслуживание и ремонт МТП составляет 31152455 руб.

Годовая экономия на среднестатистический парк тракторов модельного парка агрохолдинга составит 132506280 руб., а срок окупаемости единовременных затрат составит около 1,0 года.

Заключение

1. Возрастная структура машинно-тракторного парка в Российской Федерации характерна преобладанием транспортно-технологических машин со сроками службы превышающими 10 лет, который для тракторов составляет более 19 лет, для зерноуборочных комбайнов – свыше 15 лет, кормоуборочных комбайнов – свыше 16 лет, грузовых автомобилей – более 21 года.

2. Преобладание транспортно-технологических машин, имеющих значительный возраст и наработку приводит к тому, что имеет место низкая надежность, характеризуемая низкой наработкой на отказы, в среднем составляющей 75...80 % от нормативной, а ежегодные потери урожая из-за низкой надежности транспортно-технологических машин составляют от 10 до 15 %.

3. Выбор наиболее эффективного варианта состава машинно-тракторного парка применительно к конкретным условиям эксплуатации с учетом реальных объемов производства новых машин и сложившейся возрастной структурой парка является сложной оптимизационной задачей, в которой важное значение имеет величина рационального срока службы транспортно-технологических машин.

4. Анализ моделей управления возрастной структурой машинно-тракторного парка показал, что модель дискретного списания в большей степени соответствует условиям работы сельскохозяйственной техники в силу интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации.

5. Дифференцированная оценка потребительских свойств транспортно-технологических машин при определении возрастной структуры машинно-тракторного парка должна выполняться по трём основным группам: способность сельскохозяйственной техники к соблюдению технологических требований, определяемых условиями работы (технологические или агротехнические); производи-

тельность и экономичность техники (технико-экономические); свойства, обеспечивающие безопасность и комфорт водителя (общетехнические).

6. Разработана математическая модель оценки эффективности машинно-тракторного парка по нескольким критериям оптимизации, определяющая величину расхождения между проектными значениями (по одному критерию - d_{ij}^T) и фактическому значению (d_{ij}^a) с учетом актуальных эксплуатационных, технико-экономических требований, а также требований безопасности в каждой возрастной группе.

7. Разработано программное обеспечение, реализующее математическую модель оценки эффективности машинно-тракторного парка, позволяющее находить оптимальное решение по управлению возрастной структурой для любых вариантов состава.

8. Приведение сложившейся возрастной структуры машинно-тракторного парка модельного холдинга из 300 машин к оптимальной требует не менее 5,5 года и достигается путем ежегодного приобретения 50 новых единиц техники (по 25 каждые полгода).

9. Значение коэффициента технического использования при реализации метода управления возрастной структурой на примере модельного машинно-тракторного парка холдинга не снижается ниже нормативного КТИ = 0,8, а ожидаемое максимальное значение этого коэффициента для модельного парка будет достигнуто в 2026 году и составит КТИ = 0,809 (или 101,13 % от нормативного), таким образом, перепад в уровне работоспособности модельного парка за прогнозируемый период не превысит 1,13 %, что свидетельствует о высокой прогнозируемой эффективности работы модельного холдинга, эксплуатирующего транспортно-технологические машины.

10. Разработанная методика управления возрастной структурой машинно-тракторного парка позволяет не только выравнивать возрастную структуру, но и решать данную задачу с учетом установленного целеполагания – равномерного повышения показателей использования транспортно-технологические машин, ес-

ли они находятся на низком уровне, применение методов численного моделирование подтвердило, что оптимизационная модель может позволяет сформировать МТП модельного холдинга (группы предприятий) с ожидаемым увеличением коэффициента технического использования от 0,772 до 0,800.

11. Применение разработанной методики управления возрастной структурой машинно-тракторного парка и реализующего ее программного обеспечения позволяет сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт МТП на 31152455 рублей в ценах 2024 года для условий модельного парка агрохолдинга.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АПК – аграрно-промышленный комплекс
АТП – автотранспортное предприятие
ВСМТП – возрастная структура машинно-тракторного парка
ДЦ – дискретный цикл
ИТС – инженерно-техническая служба
КГ – коэффициент готовности
КНГ – коэффициент неготовности
КОВ – коэффициент относительной важности
КОГ – коэффициент оперативной готовности
КР – капитальный ремонт
КТГ – коэффициент технической готовности
КТИ – коэффициент технического использования
МТБ – материально-техническая база
МТС – машинно-технологическая станция
МТП – машинно-тракторный парк
РЦ – расчётный цикл
ПТБ – производственно-техническая база
ТО – техническое обслуживание
ТО и Р – техническое обслуживание и ремонт
ТР – текущий ремонт
ТЭ – техническая эксплуатация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 27. 12.2012 №1432 (ред. от 18.01.2019) «Об утверждении Правил предоставления субсидий производителям сельскохозяйственной техники. Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-27122012-n-1432/>. Дата обращения 13.02.2019 г.
2. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения на период до 2030 года. Распоряжение Правительство российской федерации 7 июля 2017 г. № 1455-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/Ba4B6YDTiuOitleLkDQ05MCbz4WrfZjA.pdf>. Дата обращения 15.03.2018 г.
3. Измайлов, А.Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК / А. Ю. Измайлов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 200 с.
4. Измайлов, А.Ю. Типаж и структура транспортных погрузочно-разгрузочных средств в АПК / А. Ю. Измайлов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – №4. – С. 20–23.
5. Измайлов, А.Ю. Транспортное обеспечение уборочных комплексов / А. Ю. Измайлов // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – №3. – С. 16–18.
6. Гатаулин, А. И. Экономико-математические методы в планировании сельскохозяйственного производства / А. И. Гатаулин, Г. В. Гаврилов, Л. А. Харитокова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 272 с.
7. Глинер, Л.Е. Обоснование и практическая реализация полноприводной компоновочной схемы грузовых автомобилей общетранспортного назначения как резерва повышения производительности автотранспортных средств: автореф. дис... канд. тех. наук. – М.: 1987. – 24 с.

8. Гоберман, В. А. Автомобильный транспорт в сельскохозяйственном производстве: эффективность и качество работы, оценка и разработка организационно-технических решений / В. А. Гоберман. – М.: Транспорт, 1986. – 287 с.
9. Говорущенко, И. Я. Основы теории эксплуатации автомобилей / И.Я. Говорущенко. – Киев: Вища школа, 1971. – 232 с. 56. Гонин, П. Б. Рационально использовать транспортные средства на перевозке сельскохозяйственной продукции / П. Б. Гонин // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – № 7. – С. 44–45.
10. Зангиев А.А., Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е. Повышение эффективности работы сервисных служб машинно-технологических станций. – М.: Агроконсалт, 2001. – 108 с.
11. Дзоценидзе, Т. Д. Обоснование параметров малогабаритных транспортных средств сельскохозяйственного назначения с широкими функциональными возможностями: дис... д-ра техн. наук 05.20.01 / Дзоценидзе Тенгизи Джомалиевич. – М., 2009. 407 с.
12. Дзоценидзе, Т. Д. Перспективы развития российского автопрома / Т.Д. Дзоценидзе // Metallurg. – 2005. – № 8. – С. 5-10.
13. Бабкин К. Страна уставших тракторов. Почему в России сельхозтехника работает на износ/К. Бабкин//Forbes. Бизнес.сельское хозяйство 31.05.2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.forbes.ru/biznes/pmef-2018362081-strana-ustavshih-traktorov-pochemu-v-rossii-selhoztehnika-rabotaet-na-iznos>. Дата обращения. 11.11.2018 г.
14. Краткий обзор сельхозмашиностроения 2017 г. Россия и СНГ/AFTERSHOCK –информационный центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aftershock.news/?q=node/655844&full>. Дата обращения. 05.11. 2019 г.
15. Пасечников Н.С. Научные основы технического обслуживания машин в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
16. Пильщиков Л.М., Голубев И.Г., Фролов В.А. Опыт работы технических центров (дилеров) по сервису сельскохозяйственной техники: Аналитический обзор. М.: Информагротех, 1993. – 48 с.

17. Пильщиков Л.М., Сычев Е.Н. Ремонт и модернизация машин в сельском хозяйстве // МТС. 2002. – № 14. – С. 58-62.
18. Плаксин А.М. Эффективность стратегий обеспечения работоспособности тракторов//Техника в сельском хозяйстве. – 2000. № 3. – С. 20-24.
19. Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в условиях Сибири: Учебно-методическое пособие/РАСХН. Сиб. отд-ие СибМЭ; науч. ред. Н.М.Иванов, А.Е.Немцев – Новосибирск, 2012. – 108 с.
20. Порохня А.А. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей на основе улучшения профессиональной подготовки ремонтных рабочих. Автореферат дисс. к.т.н. Ставрополь, 2002. – 144 с.
21. Привалов П.В. Организация технического сервиса машин в сельском хозяйстве и технологическое проектирование ремонтно-обслуживающих предприятий. - Новосибирск, 2003. – 432 с.
22. Привалов П.В., Яворская Е.А., Сидоров Г.С. Теоретические основы разработки методики технического сервиса сельскохозяйственных машин//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. №11, – С. 4-5.
23. Производственная база и операционная технология обслуживания машин в хозяйствах Сибири. Метод рекомендации/СО ВАСХНИЛ. СибИМЭ; Подгот. А.Т.Клейн, В.М. Лившиц, Д.В. Воронин и др. – Новосибирск, 1980. – 122 с.
24. Пронин, В.М. Техничко-экономическая оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий по критерию часовых эксплуатационных затрат/В.М. Пронин, В.А. Прокопенко. – М.: Столичная типография, 2008. – 162 с.
25. Киртбая, Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка / Ю.К. Киртбая. – М. : Колос, 1982. – 319 с.
26. Привалов П.В., Яворская Е.А., Сидоров Г.С. Теоретические основы разработки методики технического сервиса сельскохозяйственных ма-

- шин//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. №11, – С. 4-5.
27. Чеботарёв, М.В. Проблемы и перспективы развития технического сервиса АПК /М.В. Чеботарёв, И.Г. Савин // Научный журнал КубГАУ, №97 (03), 2014 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/67.pdf>
28. Савин И.Г. Технология ремонта машин. Учебное пособие. / И.Г. Савин, М.И. Чеботарёв, Ю.Д. Янчин. – Краснодар: КГАУ. 2013. – 499 с.
29. Фёдоров, А.Г. Организация технического обслуживания грузовых автомобилей с использованием интегрированной электронной нормативно-технической полнокомплектной документации и индивидуализированного прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов: диссертация ... к-та. техн. наук: 05.20.03. / Фёдоров Алексей Георгиевич. - Новосибирск: 2017. – 212 с.
30. Криков, А.М. Разработка информационной модели системы технического обслуживания и диагностики/ А.М. Криков, Р.Г. Бердникова//Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в с.-х.: сборник докладов XI Междунар. науч.-практ. конф. Россельхозакадемия. ГНУ ВИМ - Ч. 2. – М.: 2010.– С. 205
31. Кириллов, Н.А. Сборник статей по перспективам развития агропромышленного комплекса и его технического сервиса: учебное пособие/Н.А. Кириллов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 109 с.
32. Ночёвкина Е.В. Техническая оснащённость сельского хозяйства России // Научное сообщество студентов XXI столетия. Экономические науки: сб. ст. по мат. XXXVIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1(38). URL: [http://sibac.info/archive/economy/1\(38\).pdf](http://sibac.info/archive/economy/1(38).pdf)
33. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: учебн. пособ. / Е.С. Кузнецов. - М.: МАДИ, 2003. - 247 с.

34. Анализ возрастной структуры автомобильных парков. Методические указания. В.И. Бауэр, Г.Ф. Оганесян, А.М. Осипенко/ТГНУ- Тюмень: 2002 г., Тюменский государственный нефтегазовый университет, 24 с.
35. Мороз, С.М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств: учебник / С.М. Мороз. – М.: МАДИ, 2015. – 204 с.
36. Кузнецов, Е.С Техническая эксплуатация автомобилей в США/ Е.С. Кузнецов. -М.: Транспорт, 1992. - 352 с.
37. Терентьев, А.В. Организационные формы технического обслуживания и ремонта автомобилей за рубежом/ А.В. Терентьев, Т.К. Екшикеев // Сб. научно-практических статей. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. – С. 75-78.
38. Терентьев, А.В. Исследование закономерностей изменения величины трудоёмкости ТР в процессе эксплуатации автомобиля / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Материалы 1-ой Региональной межвузовской научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. –СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – С. 73-78
39. Федеральный закон от 12.02.2015 №10-ФЗ «О внесении изменений в статьи 15 и 17 Федерального закона «О развитии сельского хозяйства». Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-12022015-n-10-fz-o/>. Дата обращения 17.10.2018 г.
40. Постановление Правительства РФ от 1 августа 2016 г. № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования». ГАРАНТ.РУ. Информационно-правовой портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/>. Дата обращения 03.04. 2017 г.

41. ГОСТ 27.002-89. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002 г.
42. ГОСТ Р 53480-2009. Национальный стандарт РФ. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2010 г.
43. ГОСТ 27.002 - 2015. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2016 г.
44. Гуськов, А.В. Определение потребительских свойств колесных тракторов семейства «БЕЛАРУС»/ А.В. Гуськов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2008. №4 (21) – С. 19-27.
45. Моделирование состава машинно-тракторного парка Источник: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=121735> © Библиофон. Дата обращения 30.10.2020 г.
46. Максимов, В.А. Расчет и прогнозирование возрастной структуры автомобильного парка / В.А. Максимов. – М.: МАДИ, 1995. – 24 с.
47. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: учебн. пособ. / Е.С. Кузнецов. - М.: МАДИ, 2003. - 247 с.
48. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1982. - 224 с.
49. Прудовский, Б.Д. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б.Д. Прудовский, В.Б. Ухарский. –М.: Транспорт, 1990 г. – 239 с.
50. Усов, А.В. Применение марковских случайных процессов для информационного моделирования работы автотранспортных средств/ А.В. Усов, Е.Ю. Кутяков // Вестник ХУНТУ. № 3(50), 2014 г.
51. Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие / Р.Х. Хасанов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. -193 с.
52. Гуськов, В. В. Тракторы. Теория / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев; под ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988 – 376 с.

53. Терентьев, А.В. Дискретная форма представления показателей технической эксплуатации автомобилей/А. В. Терентьев, И.В. Арифиллин, Т.Н. Егунова// Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. № 1 (60). С. 10-15
54. Ксеневиц, И.П. Технико-экономические основы проектирования машин и процессов / И.П. Ксеневиц, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман; под ред. д-ра техн. наук И.П. Ксеневица. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 3. – 775 с.
55. Пуховой, А.А. Основные положения и практическая реализация создания типоразмерного ряда тракторов «Беларус» / А.А. Пуховой, П.А. Пархомчик, И.Н. Усс. – Минск: ПО МТЗ, 2006. – 340 с.
56. Гуськов, А. В. Оптимизация тяговосцепных качеств тракторных шин/ А. В. Гуськов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. – № 7. – С. 14–17.
57. Ногин, В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин. И.О. Протодияконов, И.И. Евлампиев. - М.: Высшая школа, 1986. - 383 с/
58. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат: пер. с англ. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. -798 с.
59. Прудовский, Б.Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач / Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГА-СУ, 2015. –2(49), -С.154-159/
60. Саати, Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Томас Л. Саати. Пер. с англ., науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
61. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения / Р. Штойер. - М.: Наука, 1982, – С.14-29, С. 146-258.
62. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
63. Хованов Н.В. Модели учета неопределенности при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем/ Н.В. Хованов, Ю.В. Федотов // Научные доклады № 28(R) – 2006, Изд-во СПб.: НИИ менеджмента СПбГУ, 2006. – 37 с

64. Сандан, Н. Т. Влияние возраста наземных транспортно-технологических машин на интенсивность отказов / Н. Т. Сандан, С. Е. Максимов, В. Н. Горшков, П. В. Дружинин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 3(62), С. 207–210, (0,25/0,15).
65. Сандан, Н. Т. Влияние возраста наземных транспортно-технологических машин на интенсивность отказов / Н. Т. Сандан, С. Е. Максимов, В. Н. Горшков, П. В. Дружинин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 3(62), С. 207–210, (0,25/0,15).
66. Терентьев, А.В. Определение количества постов ЕО, ТО и ТР автомобилей «Скания» (Scania) / А.В. Терентьев, Т.К. Екшикеев // Сб. науч. трудов. Транспортный комплекс в условиях рыночных отношений. – Ташкент: ТАДИ, 2007. – С. 201-204.
67. Терентьев, А.В. Определение коэффициента технической готовности парка подвижного состава (на примере автомобилей Scania) / А.В. Терентьев // Сб. науч. трудов. Актуальные проблемы управления техническими, информационными и транспортными системами. – СПб.: СЗТУ, 2007. – С. 55-62.
68. Терентьев, А.В. К вопросу определения производственной программы по ТО и ТР для подвижного состава/ А.В. Терентьев // Сб. науч. трудов. Социально-экономическое развитие современного общества в условиях реформ. – Саратов: СГУ, 2008. – С. 237-239.
69. К вопросу эффективности эксплуатации автомобилей / А.В. Терентьев, Ю.Н. Кацуба, Л.В. Григорьева // Горная механика и машиностроение - Республика Беларусь: ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», 2013. №1. – С. 80-86
70. Сандан, Н.Т. Влияние морального износа на сроки службы машин /Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, С. Ч. Монгуш // Успехи современной науки. 2017. № 12 Т. 1. С. 114–117, (0,25/0,17)..
71. Терентьев, А.В. Методы анализа показателя «трудоёмкость» текущего ремонта / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2014. –1(42), - С. 117-120.

72. Терентьев, А.В. Метод оперативного анализа технического состояния автомобиля / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Записки Горного института. Том 209. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – С. 197-199.
73. Сандан, Н. Т. Управление технической эксплуатацией транспортных средств: монография / Под общ. Ред. Проф. С. А. Евтюкова. – Санкт-Петербург: Изд-во «Петрополис», 2020. – 354 с.
74. Терентьев, А.В. Управление жизненным циклом автомобиля на стадии эксплуатации / А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. –3(50), - С. 228-231.
75. Терентьев, А.В. К вопросу развития системы управления жизненным циклом автомобиля / А.В. Терентьев, А.И. Беляев // Транспорт Российской Федерации. – СПб.: №5(60) 2015, С. -30-32.
76. Терентьев, А.В. К вопросу необходимости управления жизненным циклом автомобиля [Электронный ресурс] / А.В. Терентьев, Н.А. Ртищев, Р.Р. Амирханов // Успехи современной науки. Том 3. – 2016. №4. С. 43-48; - Режим доступа: <http://www.modernsciencjournal.org/>
77. Терентьев, А.В. Методика расчёта производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава, регламенты которого не предусматривают капитальный ремонт [Электронный ресурс] / А.В. Терентьев, Н.А. Ртищев, Р.Р. Амирханов. // Успехи современной науки. Том 3. – 2016. №4. - С. 43-48; - Режим доступа: <http://www.modernsciencjournal.org/>
78. Critical Impacts of Advanced Technology in Certification of Vehicle Repair and Maintenance Facilities in Agrifood Systems / A.S. Guzalov, E.S. Schnaras, E.G. Ivakina [et al.] // Unlocking Digital Transformation of Agricultural Enterprises. Technology Advances, Digital Ecosystems, and Innovative Firm Governance. – Cham : Springer, 2023. – P. 167-175

79. Korotkikh, Yu. S. Farm Machinery Depots in Technical and Digital Support of Agriculture / Yu. S. Korotkikh, Yu. V. Chutcheva, N. N. Pulyaev // *AgroTech. AI, Big Data, IoT.* – Singapore : Springer Singapore, 2022. – P. 3-9.
80. Алдошин, Н.В. Анализ транспортного обеспечения сбора и доставки техники на утилизацию / Н.В. Алдошин // *Международный технико-экономический журнал.* – ISSN 1995-4646. - 2010, №1, С. 75-79.
81. Алдошин, Н.В. Исследование стабильности транспортного обеспечения технологических процессов сбора техники на утилизацию / Н.В. Алдошин // *Международный технико-экономический журнал.* – ISSN 1995- 4646. – 2010. – №1. –С. 70-75.
82. Алдошин, Н.В. Моделирование процессов утилизации техники в системе технического сервиса АПК: дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / Алдошин Николай Васильевич. – М., 2010. – 303 с.
83. Формирование и использование парка сельскохозяйственной техники и грузовых автомобилей с улучшением организационных методов работы механизаторских кадров в хозяйствах Бурятской АССР: методические рекомендации / А. С. Пехутов, Б. Ж. Чойжалсанов. – Улан-Удэ: Бурятск. кн. изд., 1989. – 64 с.
84. Хабатов, Р.Ш. Исследование структуры транспортного парка сельскохозяйственного предприятия (на примере колхоза лесостепной зоны УССР): Дис. канд. техн. наук/ Р. Ш. Хабатов. – Киев, 1984. – 142 с.
85. Измайлов А.Ю. Проблемы формирования российского парка и рынка сельскохозяйственных тракторов с учетом состояния и перспектив развития их производства в России и за рубежом. // Н.М. Антышев, Г.С. Гурылев, В.Г. 144 Шевцов / *Научно - практический журнал «Трактора и сельхозмашины».* – 2012. - № 2. – С. 2-3.
86. Кряжков В.М. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов в России / З.А Годжаев, В.Г. Шевцов, А.В. Лавров, Г.С. Гурылев, А.Н. Ошеров. // *Сельскохозяйственные машины и технологии.* – 2015. – № 3. – С. 9–14.

87. Кряжков В.М. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов в России. Часть 2 / З.А Годжаев, В.Г. Шевцов, А.В. Лавров, Г.С. Гурылев, А.Н. Ошеров. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 4. – С. 5–11.
88. Гмурман В. Е Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В. Е. Гурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
89. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Харьков: Высш. шк., 1984. – 312с.
90. Гольцяпин В.Я. Анализ качества и технического уровня сельскохозяйственной техники / Л.М. Колчина, Т.А. Щеголихина, М.Н. Хлепитько. Правдинский.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 144с.
91. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 395 с.
92. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. - М.: Высшая школа, 2001. - 208 с.
93. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов, — 6-е изд. стер. - М.: Высш. шк., 1999. - 576 с.
94. Джексон, П. Введение в экспертные системы, 3-е изд. -М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 624 с.
95. Лотоцкий, В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. 2017. № 2 (16). С. 39–44.
96. Tsvetkov V.Ya. Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European researcher. Series A. 2013. № 4–1 (45). p. 782–786.
97. Розенберг И.Н. Информационная ситуация как сложная система // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 69–77.
98. Терентьев, А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля/ дис. докт. техн. наук: 05.22.10 / Терентьев Алексей Вячеславович. – Санкт-Петербург, 2012. – 303 с.
99. Титов, Е.Ф. О методах определения технического уровня АТС, их агрегатов и узлов / Е.Ф. Титов//Автомобильная промышленность: журнал. 2000. № 1. - С. 27-29.

100. Трофименко, Ю.В. Упрощенная методика прогнозирования численности парка автотранспортных средств / Ю.В. Трофименко, А.В. Ефремов, С.Б. Фурсов // Совершенствование автомобильных и тракторных двигателей: сборник научных трудов. -М.: МАДИ. 1992. – С. 27-32.
101. Свое Агромнение (от Россельхозбанка) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://svoefermerstvo.ru/agromnenie/articles/top-10-samyh-populjarnyh-v-rossii-traktorov/> дата обращения 29.12. 2020 г.
102. Мирзаев, Р.Р. Модель управления возрастной структурой парка сельскохозяйственной техники/ Р.Р. Мирзаев, Б.Б. Сидоров, А.В. Терентьев, Д.А. Птицын // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 4(71). С. 92-99.
103. Мирзаев, Р.Р. Структура иерархической многокритериальной оценки системы оценки качества транспортных машин, эксплуатируемых в агропромышленном комплексе / Р.Р. Мирзаев, Б.Б. Сидоров, М.Ю. Карелина, А.В. Терентьев // Международный технико-экономический журнал. 2022. №2. С. 45-53.
104. Сидоров, Б.Б. Анализ математических моделей представления показателей, определяющих возрастную структуру машинно-тракторного парка / Б.Б. Сидоров, М.Ю. Карелина, А.В. Терентьев // В сборнике: Чтения академика В.Н. Болтинского. Сб. статей. Москва, 2022. С. 26-33.
105. Сидоров, Б.Б. Тяговая рама автогрейдера / Б.Б. Сидоров, А. Махматкулов, Е.А. Бовкун // В сборнике: Магистратура-автотранспортной отрасли. Материалы IV Всероссийской межвузовской конференции. 2020. С.180-183.
106. Аллилуев, В.А. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка / В.А. Аллилуев, А.Д. Ананьин, В.М. Михлин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 367 с.
107. Каталог «BuyWindows» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://buywindows.ru/>.
108. Парлюк, Е.П. Экономическое обоснование и оценка проектных решений по эксплуатации и ремонту транспортно-технологических машин и комплексов / Е. П. Парлюк. – Москва : Редакция журнала "Механизация и электрификация сельского хозяйства", 2019. – 144 с.

109. Эйдис, А.Л. Управление процессом создания технических систем для АПК : Учебник / А.Л. Эйдис, Е.П. Парлюк. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2016. – 188 с.
110. Парлюк, Е.П. Менеджмент техники и технологии / Е.П. Парлюк. – Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2017. – 248 с.
111. Энергоэффективность и ресурсосбережение автотракторной техники / О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, Н.Н. Пуляев, Н.А. Большаков // Известия Международной академии аграрного образования. – 2023. – № 67. – С. 38-43.
112. Формирование инновационного тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края: научно-практические рекомендации / Н.И. Селиванов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2020. – 54 с.
113. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учебное пособие в 3-х томах. Т.2. Неисправности, параметры и средства диагностики. – Харьков: Майдан, 2014. – 403 с.
114. Хорошенков, В.К. Автоматизация управления машинно-тракторным агрегатом с использованием навигационных систем / В.К. Хорошенков, Н.Т. Гончаров, Е.С. Лужнова, Н.В. Мальцев // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. - № 3. – С. 19-23.
115. СО 34.20.611-2003 Нормативы затрат на ремонт в процентах от балансовой стоимости конкретных видов основных средств электростанций: разработ. ОАО «Центральное конструкторское бюро Энергоремонт. – М. : ОАО РАО «ЕЭС России», 2003. – 65 с.
116. Каталог АО «Петербургский тракторный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kirovets-ptz.com/catalog/kirovets-k-744r2-standart>.
117. Каталог Минский тракторный завод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors>.
118. Методика определения сроков и стоимости реализации инновационного проекта / В.И. Нечаев, О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, А.Л. Эйдис. – Москва : ООО "Издательство "Триада", 2012. – 20 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Перечень критериев определения функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования (утв. постановлением Правительства РФ от 1 августа 2016 г. №740)

Таблица П1 - Тракторы сельскохозяйственные колесные общего назначения

Наименование параметра	Значение параметра		
	тяговый класс		
	3	4	5
Транспортная скорость движения, км/ч, не менее	30	30	30
Номинальное тяговое усилие, кН, не менее	27,0	36,0	45,0
Номинальное тяговое усилие, кН, не более	36,0	45,0	54,0
Буксование при максимальном тяговом КПД, процентов, не более	15	15	15
Максимальное давление движителей на почву, кПа, не более:			
в весенний период при влажности почвы в слое 0 - 30 см:			
свыше 0,9 наименьшей влагоемкости (далее - НВ)	80	80	80
свыше 0,7 НВ до 0,9 НВ	100	100	100
свыше 0,6 НВ до 0,7 НВ	120	120	120
свыше 0,5 НВ до 0,6 НВ	150	150	150
0,5 НВ и менее	180	180	180
в летне-осенний период при влажности почвы в слое 0 - 30 см:			
свыше 0,9 НВ	100	100	100
свыше 0,7 НВ до 0,9 НВ	120	120	120
свыше 0,6 НВ до 0,7 НВ	140	140	140
свыше 0,5 НВ до 0,6 НВ	180	180	180
0,5 НВ и менее	210	210	210
Агротехнический просвет, мм, не менее	350	350	500
Удельный расход топлива двигателем при эксплуатационной мощности, г/кВт·ч, не более	230	225	225
Относительный расход масла двигателем на угар, процентов, не более	0,6	0,6	0,6
Наработка на отказ II и III группы сложности единичного изделия, моточасов, не менее	400	400	400

Таблица П2 - Сельскохозяйственные колесные тракторы универсально-пропашные

Наименование параметра	Значение параметра			
	тяговый класс			
	0,6	0,9	1,4	2
Транспортная скорость движения, км/ч, не менее	30	30	30	30
Номинальное тяговое усилие, кН, не менее	5,4	8,1	12,6	18,0
Номинальное тяговое усилие, кН, не более	8,1	12,6	18,0	27,0
Буксование при максимальном тяговом КПД, процентов, не более	15	15	15	15
Агротехнический просвет, мм, не менее	500	500	500	590
Максимальное давление движителей на почву, кПа, не более:				
в весенний период при влажности почвы в слое 0 - 30 см:				
свыше 0,9 НВ	80	80	80	80
свыше 0,7 НВ до 0,9 НВ	100	100	100	100
свыше 0,6 НВ до 0,7 НВ	120	120	120	120
свыше 0,5 НВ до 0,6 НВ	150	150	150	150
0,5 НВ и менее	180	180	180	180
в летне-осенний период при влажности почвы в слое 0 - 30 см:				
свыше 0,9 НВ	100	100	100	100
свыше 0,7 НВ до 0,9 НВ	120	120	120	120
свыше 0,6 НВ до 0,7 НВ	140	140	140	140
свыше 0,5 НВ до 0,6 НВ	180	180	180	180
0,5 НВ и менее	210	210	210	210
Удельный расход топлива двигателя при эксплуатационной мощности, г/кВт·ч, не более	245	245	245	230
Относительный расход масла двигателем на угар, процентов, не более	0,6	0,6	0,6	0,6
Наработка на отказ II и III группы сложности единичного изделия, моточасов, не менее	500	400	450	400

Таблица ПЗ - Классификация потребительских свойств

Классификационный признак	Показатель, определяющий потребительские свойства машины
Свойства, преимущественно характеризующие техническую эффективность	Производительность Пропускная способность Интенсивность рабочего процесса Точность выполнения рабочего процесса
Свойства, преимущественно характеризующие безопасность машины	Показатели активной и пассивной безопасности конструкции: – напряженность электрического магнитного поля – вибрации и шум на рабочем месте оператора – механические, радиационные и иные воздействия на окружающую среду
Свойства, преимущественно характеризующие надежность машины	Средняя наработка на отказ Вероятность безотказной работы Средний ресурс (срок службы) Среднее время восстановления работоспособного состояния
Свойства, преимущественно характеризующие технологичность конструкции	Показатели (конструктивные параметры), определяющие приспособленность конструкции к использованию по назначению, техническому обслуживанию и ремонту Показатели унификации Показатели (конструктивные параметры), определяющие транспортабельность конструкции (использование веса, габаритов и др.) Показатели унификации конструкции
Свойства, преимущественно характеризующие ресурсоёмкость машины	Средняя или удельная оперативная трудоёмкость технического обслуживания и ремонта Удельная материалоёмкость машины Удельная энергоёмкость машины
Свойства, преимущественно характеризующие человеко-машинную систему (эргономичность машины)	Антропометрические (соответствие размерам и форме оператора) Гигиенические (освещенность, состав воздуха) Физиологические (соответствие силовым и иным физиологическим возможностям человека) Психологические (соответствие возможностям восприятия информации)
Свойства, преимущественно характеризующие техническую эстетичность машины	Художественная выразительность (образная или декоративная) Рациональность формы (соответствие формы назначению изделия) Целостность композиции (соподчиненность целого и частей) Совершенство производственного исполнения (чистота восполнения контуров и сопряжений)
Свойства, преимущественно характеризующие экономическую эффективность машины или производства новой техники	Приведенные затраты Прибыль Срок окупаемости капитальных вложений Интегральный показатель качества техники