

На правах рукописи

**ЛАВРОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ**

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ  
СИСТЕМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса (технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»  
(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)  
и Федеральном государственном бюджетном научном учреждении  
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Научный консультант	<b>Дидманидзе Отари Назирович</b> , доктор технических наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева
Официальные оппоненты:	<b>Гапич Дмитрий Сергеевич</b> , доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение и энергетические системы» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». <b>Камбулов Сергей Иванович</b> , доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства ФГБНУ «АНЦ «Донской». <b>Труфляк Евгений Владимирович</b> , доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и технического сервиса ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина.
Ведущая организация	ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Защита состоится 25 июня 2026 года в 10-00 на заседании диссертационного совета 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета [www.timacad.ru](http://www.timacad.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 35.2.030.03,  
кандидат технических наук, доцент

Пуляев Николай Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования.

Проблемы ресурсосбережения в современном мире приобретают все большую остроту, связанную как с возрастающими масштабами их потребления и невозможности восстановления, так и с ограниченностью научно-методических подходов к оценке ресурсозатратности производства. Так в сельскохозяйственных организациях России с 1990 г. по 2023 г. сокращение основных производственных ресурсов составило:

- по тракторному парку	- 1167 тыс. тр. (85,5%)
- по обрабатываемой площади пашни	- 53,5 млн га (46,6%)
- по количеству рабочих мест	- 8,2 млн р.м. (86%)

Большие масштабы устойчивого сокращения ресурсов свидетельствуют не о расширенном и не о простом, но фактически о суженном воспроизводстве с отрицательным процессом развития сельского хозяйства России.

Явления, сопровождающие это развитие, не находят своего анализа и системного рассмотрения. При крайне ограниченном государственном мониторинге технологического и технического состояния механизированного сельхозпроизводства его фактическая деградация (потеря функциональных признаков) официально представляется как развитие в виде поставок зерна на экспорт и отдельных выставочных единиц техники, завышенной мощности.

В настоящее время без должной стоимостной оценки остаются невозможные объемы ресурсов, а также недобор и потери продукции, связанные с дефицитом тракторного парка относительно его оптимальной технологической потребности.

Чтобы оценить уровень падения сельскохозяйственного производства России приведем только некоторые факты, относящиеся к трем проблемам:

#### *Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации*

При общем потреблении продуктов питания на уровне 75-95% от медицинских норм одна треть закупается по импорту, который достиг 35,1 млрд долл. США. В этой ситуации Правительство изменило существовавшие ранее «медицинские нормы» питания на «рациональные», которые оказались меньше норм ВОЗ, что противоречит геоклиматическому смыслу расчета норм питания.

Росстат как пашню фиксирует 30 млн га выбывших из сельскохозяйственного оборота земель.

Из произведенной продукции около 25% производится в хозяйствах населения для собственного потребления, где занято 35 млн человек, а вследствие специфики работы: население затрачивает много ручного труда, даже имея в наличии мотоблоки и ручной инвентарь.

Достижение целевых показателей Стратегии развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года во многом зависит от уровня технической оснащенности сельскохозяйственных предприятий. В частности, Минсельхоз РФ ставит задачу увеличить производство зерна до 170 млн тонн, что соответствует производственному потенциалу страны. Однако для реализации этой цели необходимо решить две ключевые задачи: вовлечение в

оборот неиспользуемых пахотных земель и обеспечение агропромышленного комплекса (АПК) современным машинно-тракторным парком с передовыми прогрессивными машинными технологиями.

#### *Развитие сельских территорий*

35 млн чел. работников в хозяйствах населения, с низким уровнем механизации, фактически ручным трудом производят сельскохозяйственную продукцию, при мизерных доходах имеют статус занятых, т.е. не являются безработными, но не имеют никаких социальных гарантий.

Агрохолдинги (агробизнес) скупают пашню, отчуждают владельцев от земли и доходов от нее, налоги уходят в штаб-квартиры, но не остаются на селе, завышая мощность техники для сокращения количества работников, искажают рациональную структуру тракторного парка.

#### *Научно-методическое обеспечение развития парка*

Слабо изучены вопросы использования тракторов за сроком амортизации, влияния уровня технической оснащенности на продуктивность машинных технологий производства растениеводческой продукции, закономерности взаимодействия различных видов ресурсов в механизированном сельскохозяйственном производстве.

Деформация процесса воспроизводства до суженного, невозможность (сокращение численности тракторного парка, уменьшение площади пашни и количества рабочих мест) ресурсной базы принципиально меняет методы определения эффективности сельского хозяйства: затратный метод не может учесть выбывающие ресурсы, необходимо применять стоимостной метод и определять перенесенную стоимость техники, пашни и рабочих мест на продукцию. Если техника имеет понятие «амортизации» (восстановления) перенесенной стоимости, то пашня и рабочее место такого понятия не имеют.

Классификационные признаки тракторов в России и Европе согласованы не полностью.

Результаты проведенных ранее исследований по оптимизации состава тракторного парка, так же, как и используемые методики исследований, не применимы для суженного воспроизводства, в условиях которого сельское хозяйство России отрицательно развивается уже более 30 лет.

Система мобильных энергетических средств как базовый ресурс, определяющий эффективность реализации машинных технологий растениеводства, методологически должна рассматриваться в виде четырехуровневой технической системы: трактор, типаж, технологическая потребность, реальный парк, каждый из которых имеет собственные предметы исследования, от степени изученности которых зависит общая эффективность парка.

Все перечисленные проблемы имеют прямое отношение к развитию системы мобильных энергетических средств, ее техническим характеристикам как базового ресурса.

В связи с изложенным, работа, раскрывающая новые ресурсные качества системы мобильных энергетических средств как технической системы, взаимодействующей с различными видами ресурсов в механизированных

технологиях растениеводства и позволяющая повысить их эффективность, является актуальной.

### **Степень разработанности поставленных проблем.**

Вопросы оптимального использования техники при расширенном и простом воспроизводстве рассматривались во многих работах таких известных ученых и исследователей как Р.Ш. Хабатов, Б.Д. Докин, Э.А. Финн, Б.И. Кашпура, В.И. Мининзон, Х.Г. Барам, А.Д. Мурашев, Ю.А. Конкин, С.Г. Стопалов, Г.Г. Косачев, А.П. Перерва, А.Л. Эйдис, Л.М. Пилюгин, О.К. Киртбая, И.П. Ксенович, О.Н. Дидманидзе, В.Г. Шевцов, Р.Т. Хакимов, К.Д. Хафизов, Е.В. Труфляк, С.И. Камбулов, Д.С. Гапич, И.Г. Галиев, А.Г. Левшин и других ученых.

Вопросы разработки типажа и технологий рассматривались в работах таких известных ученых и исследователей как А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Ю.С. Ценч, З.А. Годжаев, Г.М. Кутьков, В.Г. Шевцов, В.И. Мининзон, В.М. Бейлис, Э.В. Жалнин Н.Е. Евтюшенков, А.Г. Пономарев, А.А. Соловейчик, А.Я. Поляк, Б.И. Пейсахович, Б.И. Кашпура, Б.Д. Докин, А.К. Лысов, И.И. Габитов, С.Г. Мударисов, Н.И. Селиванов и др.

Однако можно показать, что при нынешнем уровне развития сельского хозяйства правильно определить рациональный состав и план работы машин существующими и, в частности, перечисленными методами невозможно. Несовершенство до сих пор еще применяемых способов заключается в том, что ими нельзя учесть все факторы, влияющие на экономику парка, получить и обработать огромное количество данных, от которых может зависеть эффективность применяемых средств механизации.

Рассмотренные выше методы и критерии базируются на затратном подходе и не учитывают процессы невосстановления тракторного парка площади пашни и количества рабочих мест. В связи с этим представляется актуальной разработка новых методов и критериев оптимизации парка тракторов на основе доходного подхода.

### **Цель и задачи исследования.**

Цель – методологическое обоснование направлений развития парка, типажа и конструкции сельскохозяйственных тракторов, которые позволят обеспечить повышение эффективности механизированного сельхозпроизводства.

Задачи:

1. Предложить методологию развития системы мобильных энергетических средств как четырехуровневой технической системы, являющейся базовым ресурсом механизированного сельскохозяйственного производства.

2. Разработать технологическое направление развития сельскохозяйственных мобильных энергетических средств, обеспечивающее повышение энергоэффективности и экологической безопасности в полном жизненном цикле и обосновать параметры перспективных сельскохозяйственных тракторов. Разработать современное дополнение к теории трактора и технические решения, направленные на повышение энергоэффективности и экологической безопасности.

3. Разработать двухпараметрическую классификацию типажа сельскохозяйственных тракторов, согласованную с европейскими стандартами.

4. Разработать методику определения технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах с учетом прогнозируемых целевых показателей.

5. Исследовать закономерности влияния показателей тракторов в парке на показатели сельскохозяйственного производства и разработать методику оптимизации количественно-возрастного состава тракторного парка сельскохозяйственной организации в условиях ограниченности ресурсов.

6. Оценить экономическую эффективность реализации предложенных направлений развития системы сельскохозяйственных мобильных энергетических средств.

#### **Предмет и объект исследования.**

Предметом исследования являются закономерности развития парка, типажа и конструкции сельскохозяйственных тракторов.

Объектом исследования является система мобильных энергетических средств как технический ресурс реализации механизированного сельхозпроизводства.

#### **Методы исследования.**

В работе использован системный подход к решению поставленных задач, основанный на методах исследования сложных систем, закономерностях развития механизированного сельхозпроизводства, причинно-следственном анализе влияния факторов на эффективность производства сельскохозяйственной продукции. При обосновании теоретических положений применены методы математической статистики, дедуктивный метод построения теории переноса стоимости ресурсных составляющих на сельскохозяйственную продукцию на основании установленного обобщенного эквивалентного соотношения невозстановливаемых частей ресурсов, дифференциальное исчисление, экономико-математическое компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент.

#### **Достоверность результатов исследования.**

Достоверность полученных результатов подтверждается значительным объемом статистических данных, представляющих тридцатипятилетнюю динамику изменений состояния тракторного парка, площади пашни, количества рабочих мест и объемов производства сельскохозяйственных организаций Российской Федерации, корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальной науки, хорошей сходимостью результатов вычислительного эксперимента по расчету предельного возраста и количества тракторов в парке СХО Российской Федерации с его фактическим состоянием.

#### **Научная новизна работы.**

Разработана новая методология, раскрывающая механизм взаимодействия ресурсов при реализации механизированных технологий с базовой ролью тракторного парка.

Получены зависимости потерь сельскохозяйственного производства от ресурсных характеристик тракторного парка: количественно-возрастного состава, трактороснащенности.

Предложено представление системы мобильных энергетических средств как технической системы, включающей трактор, типаж, технологическую потребность и реальный парк.

Обоснована двухпараметрическая тягово-мощностная классификация типажа, содержащая 11 тяговых классов и 12 мощностных разрядов.

Разработана методика определения оптимального количественно-возрастного состава по критерию минимизации совокупных затрат, учитывающих невосстановление ресурсов.

Усовершенствован метод прогнозирования развития тракторного парка на основе учета факторов воздействия средств механизации на агрономическую культуру.

#### **Практическая значимость работы.**

Заключается в методическом, информационном и программном обеспечении прогнозирования развития механизированного сельскохозяйственного производства на основе развития тракторного парка во взаимодействии с площадью пашни и количеством рабочих мест, описываемых эквивалентным соотношением переносимых стоимостей.

#### **Реализация результатов работы.**

Результаты исследования использованы при разработке:

1. Методических рекомендаций по определению нормативной потребности в сельскохозяйственной технике для растениеводства.

2. Макетного образца технологического модуля для мобильных энергетических средств класса 1,4.

3. ГОСТ Р 58656 – 2019. ТЕХНИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МОБИЛЬНАЯ. Методы определения воздействия движителей на почву.

4. Стандарта организации СТО ВИМСТАНДАРТ 001-2016. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы и мощностные разряды.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

Обоснование становления тракторного парка как четырехуровневой технической системы, являющейся базовым ресурсом реализации механизированного сельхозпроизводства.

Развитие теории трактора при его работе в качестве мобильного энергетического средства в составе с технологическим модулем.

Технологическое направление развития сельскохозяйственных мобильных энергетических, обеспечивающее повышение энергоэффективности и экологической безопасности в полном жизненном цикле.

Двухпараметрическая тягово-мощностная классификация типажа сельскохозяйственных тракторов.

Методика и результаты определения технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах на примере двух регионов.

Методика оптимизации количественно-возрастного состава тракторного парка в условиях ограниченности ресурсов.

### **Апробация результатов работы.**

Результаты НИР, проведенные в ВИМе при участии автора, которые нашли применение в данной диссертации:

НИР FGUN-2022-0009 «Разработать методологию и технические решения создания мобильных энергетических и транспортно-технологических средств для интеллектуального сельскохозяйственного производства»;

НИР № 0581-2019-0010 «Разработка системы мобильных энергетических и транспортно-технологических средств для цифрового сельского хозяйства»;

НИР 2018 г. 10.9.03-2018 «Провести теоретические и экспериментальные исследования по созданию мобильных универсально-пропашных и транспортных энергосредств нового поколения класса 0,9; 2; 3 с высокоэффективными силовыми установками, приводами и ходовыми системами» по теме 10.9.03 «Разработка системы универсальных мобильных энергетических и транспортно-технологических комплексов для сельскохозяйственного производства»;

НИР 2017 г. 10.9.01. «Разработка научно-технических прогнозов, программ, концепций, систем машин и технологий, стратегий развития инженерной сферы сельскохозяйственного производства и сельскохозяйственного машиностроения». «Разработать методические рекомендации по составлению прогноза технического и технологического развития сельскохозяйственного производства, перспективные направления развития энергосберегающих технологий и оборудования, методологию оценки функционирования инженерно-технической системы технического сервиса и машиноиспользования в сельскохозяйственном производстве»;

НИР 2016 г. 24.1.5. «Доработать проект раздела «Типаж тракторов и мобильных энергетических средств». Система инновационных машинных технологий и техники нового поколения»;

НИР 2015 г. 24.3 «Разработать методологию и алгоритмы создания машин и оборудования нового поколения, технических и технологических комплексов для селекции и семеноводства приоритетных видов сельскохозяйственных культур»;

НИР 2014 г. 24-1. «Система формирования инновационных машинных технологий, процессов, машин и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной продукции растениеводства, построенная на принципах ресурсо-энергосбережения и экологической безопасности»;

НИР 2013 г. 09.01.05.01.01.01 «Разработать базу данных тяговых показателей отечественных и зарубежных тракторов по системе OECD на основе созданного алгоритма приведения технических характеристик сельскохозяйственных тракторов по ISO к показателям классификации типажа сельскохозяйственных тракторов России»;

НИР 2012 г. «Провести исследования и разработать Концепцию развития сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года».

Основные положения и результаты диссертационного исследования обсуждены и одобрены:

- на заседании секции Научно-технической политики Научно-технического совета Минсельхоза России (протокол № 21 от 10 декабря 2020 г.);

- на совещании в Евразийской экономической комиссии (протокол № 11-26/пр от 03 мая 2023 г.);

- на научных конференциях Всероссийского и международного уровня:

«Республиканский семинар-совещание по организации ремонта и модернизации сельскохозяйственной техники в осенне-зимний период 2023-2024 годов» (Республика Башкортостан, 2023 г.); «III Международной научно-практической конференции Союза промышленников «Прогресс» (г. Минск, 2023 г.); «II Международной научно-практической конференции Союза промышленников «Прогресс» (г. Москва, 2023 г.); «Роботизированные и автоматизированные системы в автомобиле- и тракторостроении» (г. Воронеж, 2022 г.); «Роботизированные и автоматизированные системы в автомобиле- и тракторостроении» (г. Воронеж, 2022 г.); «Исследования и последние достижения в АПК и биотехнологиях», г. Краснодар, 2021 г.); «Advanced Technologies in Agriculture and Food Processing» (On-line (Zoom conference), 2021 г.); «International conference on artificial intelligent and agriculture engineering (AIAE 2021)» (Moscow, 2021 г.); «XIX. World Congress of CIGR (International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering)» (Antalya, Turkey, 2018 г.); Семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского» (Москва, 2018 г.).

- при выполнении договоров: ПАО «КАМАЗ» (договор № 157/1 от 09.06.2023 г.); НИУ ВШЭ (договор № 6.12-21/01.87-110723-5 от 11.07.2023 г.); ФГБОУ ВО БашГАУ (договор, №04-01-1/2022 от 20.01.2022 г.); ООО «АСТ» (договор, №10-03-1/2022 от 01.04.2022 г.); ПАО «КАМАЗ» (договор, № 16-5-1/2022 от 01.07.2022 г.); «Фондом содействия развитию инноваций» (договор №3994ГС1/65569 (код 0065569) от 03.03.2021 г.); ООО «ЗГМ» (договор, № 18-02-1/2018 от 09.02.2018 г.).

**Публикации.** Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 32 научных трудах, в том числе в 20 статьях, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций, в 7 статьях, входящих в МБД (Scopus), в 1 монографии, в 1 методических указаниях, получены 1 патент на изобретение и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, включающего 168 наименований, в том числе 9 на иностранном языке и приложения на 9 страницах. Объем диссертации – 282 страницы машинописного текста. Диссертационная работа проиллюстрирована 56 рисунками и поясняется 75 таблицами.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи, определены новизна и практическая значимость подлежащих изучению вопросов, дана краткая аннотация работы и приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Анализ состояния проблемы развития тракторного парка во взаимодействии с такими видами ресурсов как пашня и трудовой потенциал» рассмотрено состояние парка сельскохозяйственных тракторов России, сформирована количественно-возрастная структура тракторного парка, исследованы особенности эксплуатации тракторов сверх срока амортизации, рассмотрены критерии и методы оптимизации состава МТП в зависимости от типа воспроизводства в сельском хозяйстве.

Сельскохозяйственную продукцию в России производят три типа сельхозтоваропроизводителей, соотношения объемов производства которых в 2022 г. составили:

- |   |          |
|---|----------|
| - сельскохозяйственные организации (СХО)    | - 60,1%; |
| - крестьянские (фермерские) хозяйства (КФХ) | - 15,8%; |
| - хозяйства населения (ХН)                  | - 24,1%. |

В этих условиях государственный мониторинг парка сельскохозяйственных тракторов России практически не ведется. Росстат и Минсельхоз РФ показывает на конец года одну цифру по СХО, которая не позволяет оценить качественное состояние парка.

Сведения по КФХ и ХН, полученные в ходе устного опроса во время Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года, не дают возможности оценить фактическую работоспособность парка тракторов, незарегистрированных в Ростехнадзоре, и недопущенных к безопасной эксплуатации.

Для решения проблемы мониторинга парка сельскохозяйственных тракторов СХО, информация об устойчивой тенденции сокращения парка тракторов СХО по данным Росстата дополнена путем аналитического обобщения данных о годовых помарочных закупках на российском рынке сельскохозяйственных тракторов с разработкой базы данных «Количественно-возрастной состав парка тракторов сельскохозяйственных организаций Российской Федерации по годам за период с 1990 г. по 2010 г.» (гос. рег. № 2010620595 от 08.10.2010), с последующей актуализацией до 2023 года.

Информация систематизируется помарочно на основании анализа статистических данных, представленных в «Аналитическом обзоре. Производство автомобильной, тракторной, сельскохозяйственной техники и компонентов к ней производителями России и других стран СНГ».

Общая структура российского рынка сельскохозяйственных тракторов формируется с учетом импорта по данным Ежемесячного информационного бюллетеня «Производство и рынок сельскохозяйственной техники в Российской

Федерации», Росагромаш. При помарочном рассмотрении импорта исключаются малогабаритные тракторы и тракторы, бывшие в употреблении.

Систематизированная в БД информация позволяет наглядно представить процессы изменения количественно-возрастного состава тракторов в парке (рисунок 1) с прогнозом их ежегодного старения.

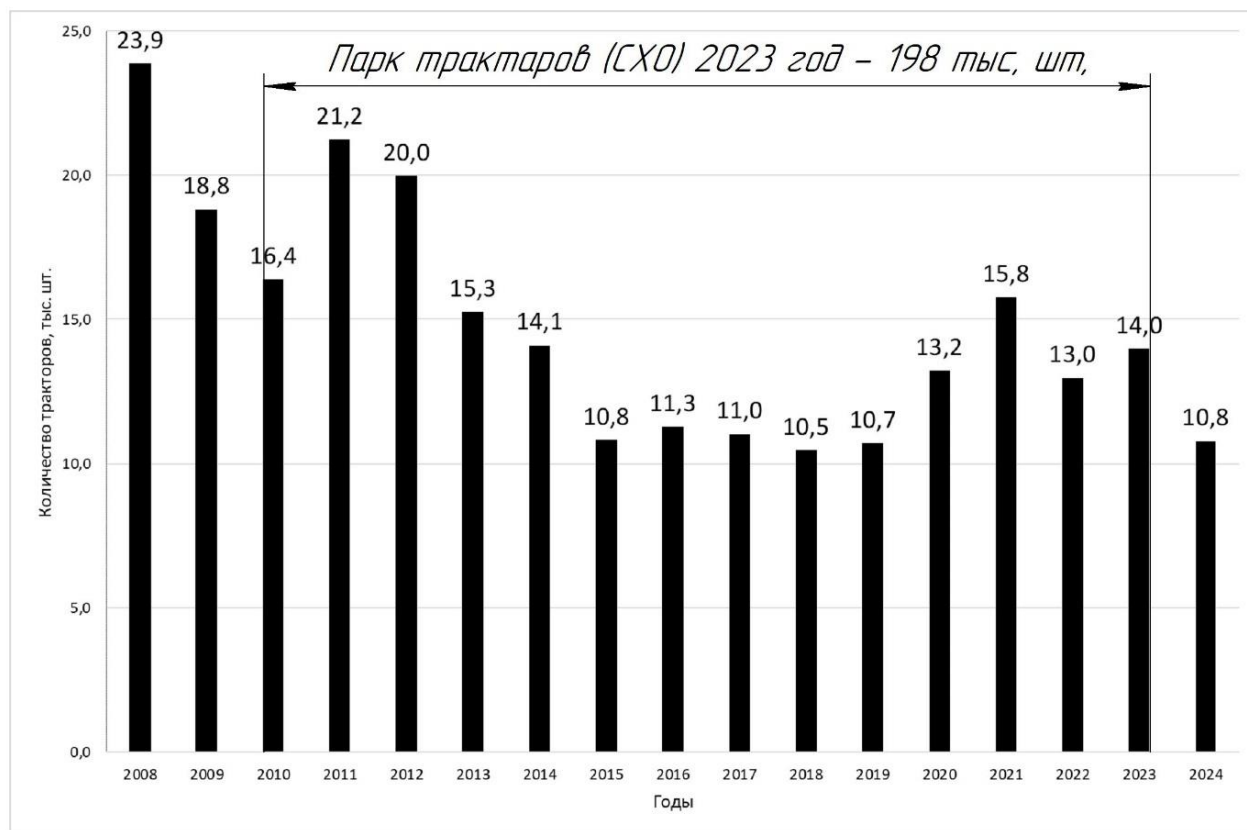


Рисунок 1 – Формирование количественно-возрастной структуры тракторного парка СХО с 2008 г. по 2023 г.

Приведенная схема формирования количественно-возрастной структуры тракторного парка (рисунок 1) позволяет оценить парк тракторов на конец 2023 года, всего в парке было 198 тыс. тракторов, для накопления которых в парке необходимо было сохранить закупки вплоть до 2010 года, т.е. в возрасте не менее 14 лет.

Восстановление численности и возрастного состава тракторного парка имеет определяющее значение для освоения пашни, выведенной из активного сельскохозяйственного оборота. Прогноз темпов освоения земель необходимо рассматривать через внутренние связи между количеством тракторов в парке, их возрастным составом и увеличением тракторооснащенности.

Возникшее явление массового использования тракторов сверх срока амортизации (около 40 %) требует более подробного рассмотрения.

Обоснование оптимальных сроков использования машин в составе машинно-тракторного парка – одна из важнейших проблем эффективного механизированного сельхозпроизводства, связанных с научным подходом к воспроизводству капитала в стоимостной и материально-вещественных формах.

Предложено множество решений по данной проблеме. В своих научных работах ученые Мурашов А.Д., Косачев Г.Г., Стопалов С.Г., Чутчева Ю.В., Конкин Ю.А. и др. предлагают методы определения оптимальных сроков службы, основой которых является критерий: минимум приведенных затрат.

Однако, в условиях существенной деформации процесса воспроизводства сельскохозяйственной техники использование критерия «минимум проведенных затрат» не представляется возможным. Недостаток техники (40-50%) формирует тенденцию вынужденного продления сроков службы машин для выполнения работ по производству сельскохозяйственной продукции.

Критерием ограничения продолжительности сроков службы тракторов и другой техники выступает результат сопоставления растущих эксплуатационных расходов на использование стареющей техники с объемом производимой продукции, рентабельностью ее производства в условиях рыночной экономики.

Наше исследование посвящено *технологической подсистеме*, в которой воспроизводство связано с воспроизводством ее производственного потенциала (кадры работников, материально-техническая база, производственно-социальная инфраструктура) и результатов системы «производство» (продукция, работа, услуги).

Для практической оценки уровня воспроизводства технологической подсистемы должны рассматриваться следующие показатели:

*материальные ресурсы:*

- среднестатистическое количество сельскохозяйственных тракторов в парке  $N_{ТП}$ ;
- изменение среднестатистического количества сельскохозяйственных тракторов парка за 1 производственный цикл  $\Delta N_{ТП}$ .

*земельные ресурсы:*

- площадь пашни  $S_{п}$ ;
- $\Delta \bar{S}_{п}$  изменение площади пашни за 1 производственный цикл;
- оптимальная технологическая тракторосооруженность  $\tau_{mex}$ ;
- реальная технологическая тракторосооруженность,  $\tau_p$ .

*трудовые ресурсы*

- $R$  – количество рабочих мест;
- $\Delta R$  – изменение количества рабочих мест за 1 производственный цикл.

При таком ресурсном подходе сложившееся положение с выбором критериев и методов оптимизации соответствует представленному в таблице 1.

Таким образом, проведенный анализ показал, что существующие методы и критерии оптимизации машинно-тракторного парка, базирующиеся на затратном подходе, не учитывают процессы невозможности восстановления ресурсов (тракторного парка, площади пашни, рабочих мест) в условиях суженного воспроизводства. Это обуславливает необходимость разработки новых методов и критериев на основе доходного подхода, учитывающего перенесенную стоимость ресурсов.

Таблица 1 – Условия применения системно-воспроизводственного способа определения эффективности сельскохозяйственного производства

		ВИД ВОСПРОИЗВОДСТВА		
Используемые ресурсы	Признак	Расширенное	Простое	Суженное
		Значение признаков		
Тракторный парк	$\Delta N_{ТП}$ (количество)	$\Delta N_{ТП} \geq 0$		$\Delta N_{ТП} < 0$ $\Delta S_{п} < 0$ $\frac{\tau_p}{\tau_{mex}} < 0$ $\Delta R < 0$
Площадь пашни	$S_{п}$	$\Delta S_{п} \geq 0$		
	$\frac{\tau_p}{\tau_{mex}}$	$\frac{\tau_p}{\tau_{mex}}$		
Количество рабочих мест	$R$	$\Delta R$		
Вид развития		Положительное		Отрицательное
		Методика		
$Эффективность = \frac{\text{результат}}{\text{затраты}}$		Многочисленные варианты на основе ГОСТ Р 34393-2018		Отсутствует

**Во второй главе** «Методология исследования развития системы мобильных энергетических средств как четырехуровневой технической системы» разработана методология развития системы мобильных энергетических средств как четырехуровневой технической системы, включающая трактор, типаж, технологическую потребность и реальный парк.

Систему мобильных энергетических средств предлагается рассматривать состоящую из органически связанных (составляющих единый организм со своими законами развития) технических субъектов-тракторов, параметры которых изменяются в определенных технологическими функциями (операциями) в пределах, позволяющих определить потенциальную научно-обоснованную оптимальную количественную структуру парка, которая должна сравниваться с его реальным состоянием.

Данное методологическое положение проиллюстрировано на рисунке 2.

*Трактор сельскохозяйственный* – как объект исследования, это колесная или гусеничная самоходная машина, которая в агрегате с прицепными, навесными, полунавесными машинами (как с пассивными, так и с активными рабочими органами) и стационарным оборудованием выполняет сельскохозяйственные и транспортные работы.

Для трактора сельскохозяйственного предметом исследований является способность выполнения функциональных задач, которая научно представлена теорией трактора, а на практике реализуется через технические и технологические уровни трактора.

*Типаж сельскохозяйственных тракторов* – совокупность классифицированных моделей (основных и модификаций), составленная на основе оптимизационных технико-экономических расчетов и изучения спроса

потребителей, исходя из необходимости выполнения всего комплекса тракторных работ.

В рыночных условиях типаж предназначен для установления единых требований к типоразмерным рядам и основным техническим и технологическим параметрам сельскохозяйственных тракторов и мобильных энергетических средств.

При разработке типажа решаются научные проблемы, связанные с обоснованием типоразмерных рядов тракторов и границами их изменения. Итоговым документом должна являться Система машин.

<b>ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>			
<i>Трактор сельскохозяйственный</i>	<i>Типаж сельскохозяйственных тракторов</i>	<i>Технологическая потребность</i>	<i>Реальный парк</i>
<b>ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>			
<i>Способность выполнения функциональных задач: - теория трактора; - технический уровень; - технологический уровень</i>	<i>Требования к совокупности моделей тракторов</i>	<i>Удельная количественно-энергетическая достаточность</i>	<i>Показатели оценки фактического состояния</i>
<b>ФОРМА РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ</b>			
<i>Новое теоретическое положение. Трактор в полном жизненном цикле. Исходные требования. Опытный образец. Математическая модель трактора</i>	<i>Система технологий и машин</i>	<i>Методика прогнозирования. Прогноз развития</i>	<i>Научно-методологические основы. Мониторинг дефицитности техники. Методика оптимизации. Программа развития</i>

Рисунок 2 – Методологические предпосылки исследования развития тракторного парка, как технической системы

*Технологическая потребность* является следующим этапом развития тракторного парка, научные проблемы, при обосновании которой связаны с определением на основе удельных характеристик потенциально необходимого количественно-качественного состава тракторного парка. В этом случае должны быть совмещены требования по объему производства, условиям использования и производственно-энергетические характеристики тракторов, представленных в типаже. На этом этапе выходными результатами являются методика прогнозирования и прогноз развития отрасли, как высшая форма завершения работы научной организации, суммирующая все знания о предмете.

*Парк* – главная составляющая механизации, в которой трактор, типаж и технологическая потребность превращаются в ресурс. В качестве формы

реализации рассматривается реальный количественно-возрастной помарочный состав сельскохозяйственных тракторов в России с оценкой его дефицитности.

Общая методология исследования представленных на рисунке 2 уровней развития тракторного парка должна включать теоретические и экспериментальные исследования, которые на современном этапе должны охватить следующие направления:

### **1. Трактор в полном жизненном цикле:**

- тенденции развития технического уровня;
- проектирование для экологии;
- совмещение функций рабочего органа и движителя;
- блочно-модульное построение;
- описание характеристик двигателя, трансмиссии, движителя;
- стендовые испытания.

### **2. Типаж:**

- двухпараметрическая классификация;
- согласование с CODE 2;
- алгоритм пересчета;
- основные технические требования;
- комплексы машин;
- полигонные испытания (МИС).

### **3. Технологическая потребность:**

- влияние технического уровня на производительность;
- нормативы;
- национальные задачи;
- роль механизации;
- интенсивность технологий;
- модельное хозяйство.

### **4. Реальный парк:**

- технологии различного целевого уровня;
- использование комбинированных машин;
- ограниченность ресурсов;
- закономерности взаимодействия ресурсов при переносе своей стоимости на продукцию;
- ресурсные характеристики;
- дефицитность;
- среднестатистический парк.

**Перспективные направления развития тракторного парка как базового ресурса механизированного сельхозпроизводства** являются результатом раскрытия приведенных элементов по четырем уровням и должны содержать:

- исходные требования;
- базы данных;
- программы для ЭВМ;
- прогноз;
- концепции;
- систему машин;
- учебники, монографии;

**Рекомендации Федеральным органам по технической политике** в данной работе предусматриваются как результативная часть, имеющая экономический эффект. В настоящее время этот эффект должен быть связан с повышением точности прогнозов развития механизированного сельхозпроизводства и повышением эффективности государственной поддержки сельского хозяйства.

Государственная поддержка вписывается в предлагаемую методологию как замыкающее звено в виде материальной базы для продвижения в народное

хозяйство научно-технических достижений на четырех уровнях: трактор, типаж, технологическая потребность и реальный парк.

Существенным моментом предлагаемой методологии исследования развития тракторного парка является изучение и разработка рекомендаций по формированию механизма государственной поддержки механизированного сельскохозяйственного производства с учетом стоимости и амортизационных характеристик тракторного парка, пашни и трудового потенциала.

**В третьей главе** «Сельскохозяйственный трактор в полном жизненном цикле» в рамках повышения экологической безопасности и энергетической эффективности тракторов предложено технологическое направление развития. Представлены современные положения теории трактора при его работе как энергетического средства в составе с технологическим модулем, разработан экспериментально-теоретический метод определения максимального контактного давления на почву, разработана методика согласования тягово-сцепных качеств движителей сельскохозяйственных тракторов с допустимым максимальным давлением на почву.

Предложено направление развития мобильных энергетических средств (МЭС) – повышение энергоэффективности трактора в полном жизненном цикле за счет уменьшения конструкционной массы, расхода топлива и повышения производительности машинно-тракторных агрегатов, обеспечивающее снижение полной удельной энергоемкости выполнения полезной работы в 1,4-1,6 раза.

Для реализации данного направления применены принципы CALS – технологии (непрерывной информационной поддержки жизненного цикла), предусматривающие создание цифровых моделей МЭС, формирование единого информационного пространства на всех этапах существования изделия – от проектирования до утилизации.

Разработана структура информационной модели МЭС, включающая: математическое описание процесса функционирования; критерий оптимизации; алгоритм оптимизации; компьютерное обеспечение, программы; технические решения конструкции; электронное описание для всех основных систем: двигателя, трансмиссии, движителя, навесной системы, управления и др.

Предложенное направление было использовано при разработке «Система общих требований к сельскохозяйственным тракторам малой и средней мощности» (таблица 2).

Опережающие отечественные исследования в области повышения эффективности использования мощности двигателя в машинно-тракторном агрегате, взаимодействия ходовых систем с почвой и повышения экологической безопасности отдельных узлов и систем позволили обосновать создание конкурентоспособных тракторов, превосходящих лучшие зарубежные образцы по показателям эффективности и экологической безопасности, разработку которых одобрили на заседании секции Научно-технической политики Научно-технического совета Минсельхоза России (протокол № 21 от 10 декабря 2020 г.).

Таблица 2 – Система общих требований на сельскохозяйственные тракторы малой и средней мощности, предлагаемые для стимулирования создания на территории РФ их производства полного цикла

Наименование исходных требований	Семейство блочно-модульных энергетических средств класса 0,6-0,9		Семейство колесно-гусеничных экологически безопасных тракторов класса 1,4 и 2-3						
	Универсально-пропашной								
Назначение	Универсально-пропашной								
Тяговый класс	0,6	0,9	1,4		2		3		
Тяговое усилие, кН, min/max	5,4 8,1	8,1 12,6	12,6 18,0		18,0 27		27 36		
Компоновка	Блочно-модульная								
	Система быстрстыкуемых моторно-технологических модулей (аналогов нет)		Рамная, с уменьшенной конструкционной массой, высокоунифицированная (аналогов нет)						
Условная марка	БМЭ 0,6-0,9*		1,4 К-Г		2,0 К-Г		3,0 К-Г		
Ходовая система с повышенными тягово-сцепными качествами	Колесная (2К2)	Гусеничная (модификация)	Колесная (4К4а)	Гусеничная	Колесная (4К4а)	Гусеничная	Колесная** (4К6а)	Гусеничная	
Унификация, %	Базовая	80	Базовая		93...95		90		
Коэффициент использования сцепного веса	0,4	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	
Эксплуатационная масса, кг	1500	1700	2800		3500		4000		
Тяговое усилие номинальное, кН	6,8	10,35	14,0	17,5	19,6	24,5	28,0		
Мощность эксплуатационная, кВт (л.с.)	22 (30) 30 (45) опция		73,5 (100)		118 (160)				
Технологическая потребность, тыс. тр.	30,0		60,0		30,0		10,0		
Количество сельскохозяйственных машин в комплексе, тыс. тр.	350		250		120		80		
Удельная энергетическая стоимость, тыс. руб./ л.с.	20-25 (бюджетная экономическая модель) 40-45 (бизнес-модель)								
Экологические требования	Экологическая безопасность во всем диапазоне эксплуатационных условий по воздействию на почву и содержанию вредных веществ в отработавших газах								

\*БМЭ тяг. класс 0,6-0,9 Блочно-модульное энергосредство тягового класса 0,6 с гусеничной модификацией класса 0,9

\*\*1,4 К-Г, 2,0 К-Г, 3,0 К-Г Семейство универсально-пропашных колесно-гусеничных тракторов экологически безопасных тягового класса 1,4 и 2-3 с переоборудованием ходовой системы в условиях хозяйства по базовой модели

\*\*\*Модульное энергосредство с третьим подкатным мостом

Развитие теории трактора в современных условиях характеризуется повышением энергонасыщенности трактора, как основной закономерности развития его технического уровня, что ведет к перерастанию трактора-тягача в трактор тягово-энергетической концепции (мобильное энергетическое средство) с расширением его универсальности и функциональных возможностей. Одним из перспективных направлений является формирование МТА по модульному принципу на базе энергонасыщенных тракторов, обладающего двумя уровнями мощности двигателя, снабженных технологическим модулем с одним или несколькими ведущими мостами и гидронавесным устройством, позволяющим использовать часть веса сельхозмашин в качестве сцепного веса, а также при необходимости дополнительный балласт.

Основные кинематические параметры технологического модуля определяются исходя из условия максимального тягового КПД трактора при наличии кинематического несоответствия передних и задних колес трактора.

Возьмем суммы проекций сил на горизонтальную и вертикальные оси и моментов относительно точки касания технологического модуля с опорной поверхностью (рисунок 3):

$$\begin{aligned} \sum X &= F_H \cos \varphi_H + F_B \cos \varphi_B - F_{\kappa 3} + F_{f3} + F_{sx} = 0; \\ \sum Z &= F_H \sin \varphi_H + F_B \sin \varphi_B + Z_3 - G_q + F_{sz} = 0; \\ \sum M_q &= F_H (h_H \cos \varphi_H + l_H \sin \varphi_H) + F_B (h_B \cos \varphi_B + l_B \sin \varphi_B) + \\ &\quad + M_{f3} - G_q l_q + F_{sx} h_s - F_{sz} l_s - M_{sy} = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

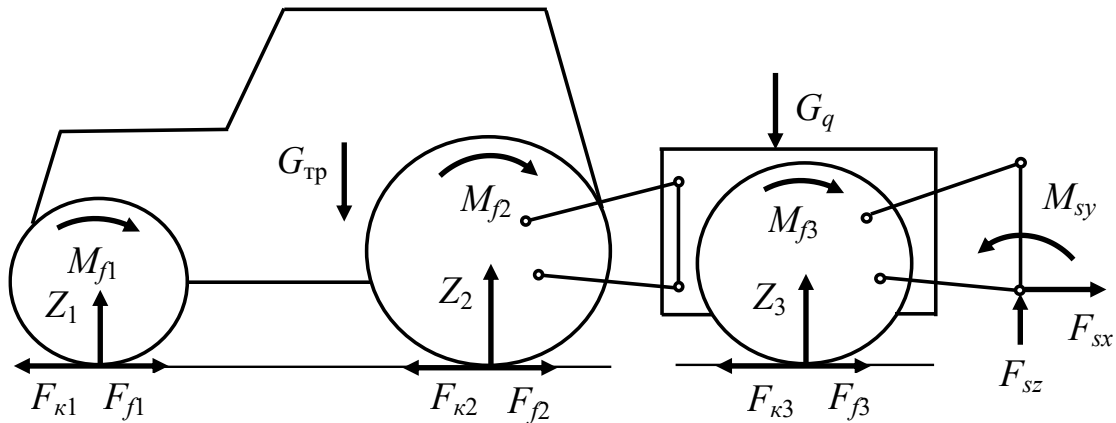


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на МЭС:

$Z_1, Z_2$  и  $Z_3$  - нормальные реакции почвы на колеса МЭС;  $F_{\kappa 1}, F_{\kappa 2}$  и  $F_{\kappa 3}$  - касательные силы тяги колес МЭС;  $F_{f1}, F_{f2}$  и  $F_{f3}$  - силы сопротивления качению колес МЭС;  $M_{f1}, M_{f2}$  и  $M_{f3}$  - моменты сопротивления качению колес МЭС;  $G_{mp}$  и  $G_q$  - соответственно, вес трактора и ТМ;  $F_{sx}, F_{sz}$  и  $M_{sy}$  - проекции сил и момента, действующих со стороны агрегата

Для определения буксования используем выражение взаимосвязи между величинами  $\delta$  и  $\varphi$ , которое допускает обращение в явном виде:

$$\delta(\varphi) = \frac{a\varphi}{b - \varphi}, \quad \varphi(\delta) = \frac{b\delta}{a + \delta},$$

где  $a$  и  $b$  эмпирические коэффициенты.

Совместное решение приведенных выше уравнений сводим к решению уравнения относительно величины буксования задней оси трактора

$$f(\delta_2) = 0.$$

КПД ходовой части определяется по уравнению:

$$\eta_x = \frac{F_{kp}}{\sum F_{kj} / (1 - \delta_j)}.$$

Разработанная методика позволяет определить увеличение КПД ходовой системы на 1,5% при кинематическом несоответствии третьего моста, равном 1,04-1,06, если имеется конструктивное кинематическое несоответствие первого моста относительно второго в пределах 1,06-1,08.

При разработке экспериментально-теоретического метода оценки максимального контактного давления на почву, исходя из схемы деформации шины при статистических испытаниях, предлагается для определения максимального контактного давления рассмотреть универсальную характеристику шины:

$$F = \frac{f^2}{C_1 + C_2 f / (p_w + p_0)}, \quad (2)$$

где  $F$  – вертикальная нагрузка на колесо, [кН];

$C_1 \left[ \frac{\text{М}^2}{\text{кН}} \right]; C_2 \left[ \frac{1}{\text{М}} \right]; p_0$  [кПа] – постоянные для данной шины коэффициенты;

$f$  – прогиб шины, [м];

$p_w$  – внутренне давление воздуха в шине, [кПа].

Универсальная характеристика шины была предложена в виде номограммы, состоящей из трех квадрантов.

В квадранте I располагается семейство зависимостей  $f = f(F, p_w)$ , рассчитанных для конкретной шины, исходя из формулы (2):

$$f = \frac{C_2 F}{2(p_w + p_0)} + \sqrt{\left[ \frac{C_2 F}{2(p_w + p_0)} \right]^2 + C_1 F}, p_0 > 0. \quad (3)$$

С уменьшением давления  $p_w$  крутизна зависимостей прогиба  $f$  от вертикальной нагрузки  $F$  возрастает.

В квадранте II располагается одна кривая, представляющая связь для данной шины между прогибом  $f$  (ось ординат) и контурной площадью контакта  $A_k$ :

$$A_k = \frac{\pi}{4} a_k b_k, \quad (4)$$

в которой

$$a_k = C_3 \sqrt{f(D - f)},$$

$$b_k = 2\sqrt{f(2R_{np} - f)}.$$

$$R_{np} = \frac{(B + H)}{2,5}; H = \frac{(D - d)}{2}; C_3 = \frac{20,5}{11,9 + \left[ \frac{D}{B} - \frac{|n-9|}{2} - 3 \right]},$$

где  $D, B$  – наружный диаметр и ширина профиля шины, [м];

$d$  – посадочный диаметр обода, [м];

$H$  – высота профиля шины, [м];

$n$  – норма слайности, [м].

В квадранте III представлено семейство гипербол, описывающих изменение максимального контактного давления на почву  $q_{max}$  в зависимости от контурной площади  $A_k$  и нормальной нагрузки на колесо  $F$ :

$$q_{max}^r = \frac{K_2 F}{K_1 A_k}, \quad (5)$$

где  $K_2 = 1,5$  – коэффициент продольной неравномерности распределения давления;

$K_1$  – коэффициент приведения площади контакта шины колеса к условиям работы на почвенном основании, зависящий от диаметра колеса.

Чем меньше нагрузка  $F$ , тем ближе проходит гипербола к центру координат 0.

Номограмма, представляющая универсальную характеристику шины (2) в виде соответствующих уравнений (3), (4) и (5), приведена на рисунке 4.

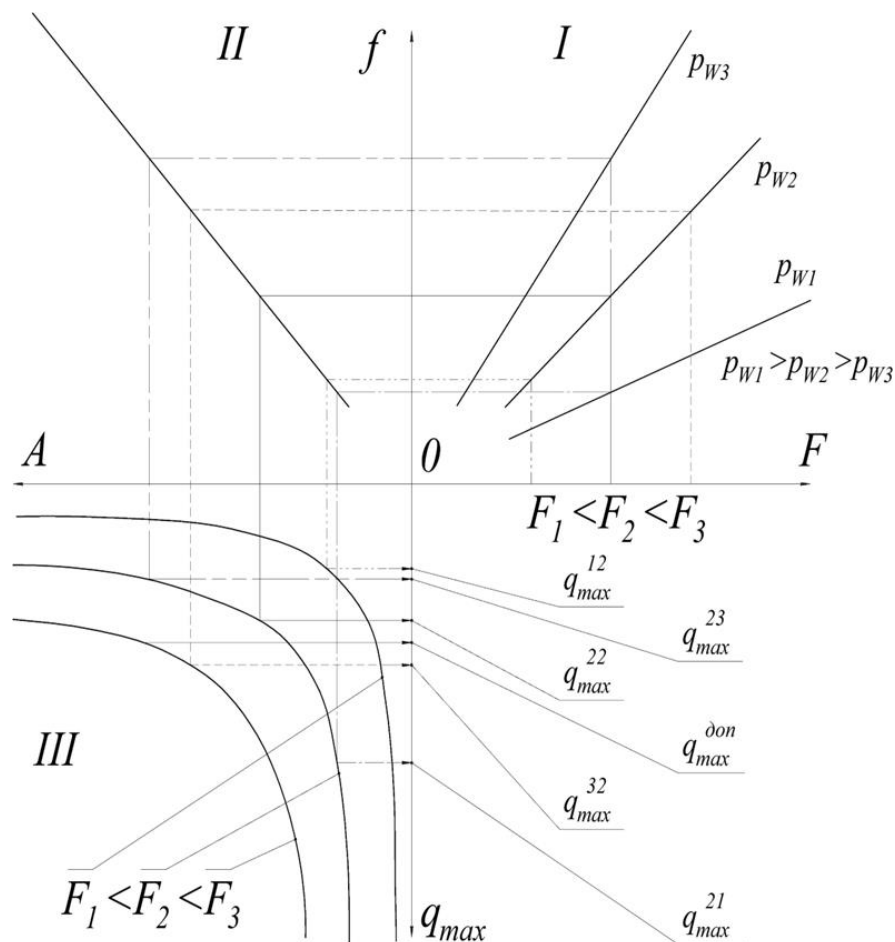


Рисунок 4 – Номограмма для определения влияния внутреннего давления воздуха в шине  $p_w$  и вертикальной нагрузки  $F$  на максимальное контактное давление  $q_{max}$

В соответствии с универсальной характеристикой шины (2) представленная номограмма позволяет наглядно рассматривать влияние нагрузки  $F$  и внутреннего

давления воздуха в шине  $p_w$  на величину максимального контактного давления. Так при постоянной нагрузке  $F_2$  снижение внутреннего давления воздуха в шине от  $p_{w1}$  до  $p_{w3}$  позволяет уменьшить максимальное давление на почву от  $q_{max}^{21}$  (см. линия  $- \cdot - \cdot -$ ) до  $q_{max}^{23}$  (см. линия  $\cdots \cdots$ ).

При постоянном внутреннем давлении воздуха  $p_{w2}$  увеличение вертикальной нагрузки от  $F_1$  (см. линия  $- \cdot - \cdot -$ ) до  $F_3$  (см. линия  $-----$ ) максимальное контактное давление увеличивается от  $q_{max}^{12}$  до  $q_{max}^{32}$  (индексы при максимальном давлении: первая цифра – уровень вертикальной нагрузки ( $1 = F_1; 2 = F_2; 3 = F_3$ ), вторая цифра – уровень внутреннего давления воздуха в шинах ( $1 = p_{w1}; 2 = p_{w2}; 3 = p_{w3}$ )).

Для обоснования параметров экологически безопасных тракторов разработана методика согласования энергетических и экологических показателей трактора, представленная в виде номограммы (рисунок 5).

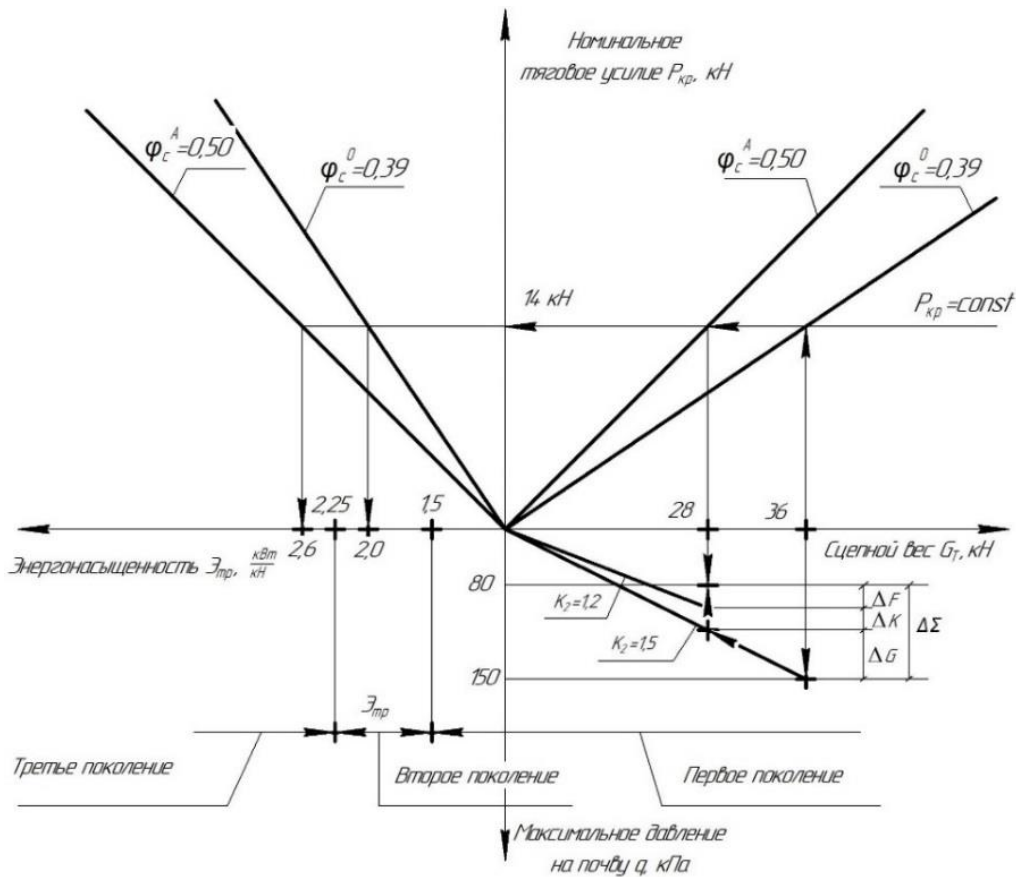


Рисунок 5 – Согласование максимального давления  $q$  на почву с допустимыми нормами, коэффициентами использования сцепного веса  $\varphi_c$  и уровнем энергонасыщенности  $\mathcal{E}_{тр}$

На номограмме (рисунок 5) графически представлено уменьшение максимального давления  $q$  на почву со 150 кПа до 80 кПа ( $\Delta\Sigma$ ) при увеличении коэффициента использования сцепного веса  $\varphi_c$  с 0,39 до 0,50 за счет уменьшения сцепного веса с 36 кН до 28 кН –  $\Delta G$ , уменьшения коэффициента продольной неравномерности  $K_2$  с 1,5 до 1,2 –  $\Delta K$ , увеличения площади контакта шины на 16% –  $\Delta F$  при постоянном тяговом усилии  $P_{кр} = 14$  кН и увеличении

энергонасыщенности  $\mathcal{E}_{\text{тр}}$  с  $2,0 \frac{\text{кВт}}{\text{кН}}$  до  $2,6 \frac{\text{кВт}}{\text{кН}}$ , соответствующей тракторам третьего поколения по квалификации профессора Кутькова Г.М.

**В четвертой главе** «Двухпараметрическая классификация типажа сельскохозяйственных тракторов» разработана двухпараметрическая классификация тракторов, разработан алгоритм приведения результатов определения тяговых показателей отечественных и зарубежных сельскохозяйственных тракторов.

Выбор типажа отечественных сельскохозяйственных тракторов, основанный на использовании типоразмерных рядов, рекомендованных ИСО (ГОСТ 8032-84).

Общая методология выбора необходимых рядов основных показателей тракторов включает следующие этапы:

- определение основного (базового) показателя, функционально связанного с множеством остальных показателей;
- оценка функциональной зависимости множества показателей от базового;
- анализ структуры и численных значений динамических диапазонов показателей;
- анализ и выбор типоразмерных рядов для каждого показателя.

Основными критериями при определении базового показателя является его максимальный динамический диапазон и однозначная функциональная зависимость с остальными показателями. Анализ известных исходных данных по эксплуатационной массе и тягово-мощностным параметрам современных тракторов показывает, что наибольший динамический диапазон из всех рассматриваемых показателей имеет эксплуатационная масса трактора  $M_{\mathcal{E}}$

Каждому тяговому классу соответствует свой поддиапазон  $M_{\mathcal{E}K}$  со средним значением  $M_{\mathcal{E}K}$ . Физическая связь между эксплуатационной массой и номинальным тяговым усилием  $F_T$ , а также статистический анализ взаимосвязи эксплуатационной массы  $M_{\mathcal{E}C}$  с мощностью на ВОМ при номинальной частоте вращения вала двигателя  $P_B$ , показывают, что они связаны следующими простыми линейными зависимостями, а именно:

$$F_{TK} = 3,9M_{\mathcal{E}}, \text{ кН} \quad (6)$$

и кусочно-линейной аппроксимацией зависимости  $N_{\mathcal{E}K} = f(M_{\mathcal{E}K})$  вида:

$$P_{B\mathcal{E}K} = \begin{cases} [11 + 21,79(M_{\mathcal{E}K} - 1)]\text{кВт}, \text{ где } 1,0\text{т} \leq M_{\mathcal{E}K} \leq 6,92\text{т} \\ [140 + 17,582(M_{\mathcal{E}K} - 6,92)]\text{кВт}, \text{ где } 6,92\text{т} \leq M_{\mathcal{E}K} \leq 16,02\text{т} \\ [300 + 8,312(M_{\mathcal{E}K} - 16,02)]\text{кВт}, \text{ где } 16,02\text{т} \leq M_{\mathcal{E}K} \leq 27,69\text{т} \end{cases} \quad (7)$$

Из изложенного следует, что для каждого тягового класса можно ввести в рассмотрение среднее значение  $\overline{M}_{\mathcal{E}K}$ , равное:

$$\overline{M}_{\mathcal{E}K} = 0,5(\max M_{\mathcal{E}K} + \min M_{\mathcal{E}K}),$$

и соответствующие ему средние значения  $\overline{F}_{TK}$  и  $\overline{P}_{BTK}$ , определяемые по (6) и (7).

Совокупность значений вышеуказанных показателей можно рассматривать как некоторые типоразмерные ряды. Для колесных тракторов ряд  $\{\overline{M}_{\mathcal{E}K}\}$  имеет вид (таблица 3).

Таблица 3 – Ряд средних значений эксплуатационной массы колесных тракторов в тяговых классах от 0,2 до 8

Номер члена ряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\overline{M}_{ЭК}, \text{ т}$	0,95	1,74	2,66	3,93	5,77	8,08	10,38	12,56	16,02	23,07

Анализ данного ряда показывает, что он не является каким-либо стандартным или близким к нему рядом. Однако при разбиении его на две части каждая из них может быть представлена с достаточной для практики точностью одним из основных типоразмерных рядов. В частности, первые пять членов ряда в таблице 4 для колесных тракторов 4К×4а могут быть представлены основным рядом R5, а вторые пять членов для тракторов 4К×4б – рядом R10. Соответствующие средние значения показателей  $\overline{M}_{ЭК}$ ,  $\overline{F}_{ТК}$  и  $\overline{N}_{ЭК}$  диапазоны их значений для каждого типоразмера колесных тракторов указанных рядов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Взаимосвязь тягово-мощностной классификации колесных сельскохозяйственных тракторов с основными рядами предпочтительных чисел по ГОСТ 8032-84

Показатель		Тяговый класс									
		0,2	0,6	0,9	1,4	2	3	4	5	6	8
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Базовый показатель – эксплуатационная масса, $M_{Э}, \text{ т}$	$M_{Э \min}$	0,5	1,39	2,08	3,23	4,62	6,92	9,23	11,54	13,58	18,46
	$M_{Э \max}$	1,39	2,08	3,23	4,62	6,92	9,23	11,54	13,58	18,46	27,69
	$\overline{M}_{Э}$	0,95	1,74	2,66	3,93	5,77	8,08	10,38	12,56	16,02	23,07
	Номер члена ряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Предпочтительное число, $\tau_m$	основной стандартный ряд R5					основной стандартный ряд R10				
Номинальное тяговое усилие $F_T$	$F_{T \min}$	1,95	5,42	8,11	12,6	18,02	27,0	36,0	45,0	52,9	72,0
	$F_{T \max}$	5,42	8,11	12,6	18,02	27,0	36,0	45,0	52,9	72,0	108,0
	$\overline{F}_T$	3,71	6,8	9,8	15,53	24,61	31,49	39,63	49,90	62,82	79,0
	Предпочтительное число, $\tau_f$	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0
Мощность на ВОМ при номинальной частоте вращения вала двигателя, $P_B, \text{ кВт}$	$P_{B \min}^P$	10	22,0	35,0	60,0	90,0	140,0	181,0	221,0	257,0	320,0
	$P_{B \max}^P$	22	35,0	60,0	90,0	140,0	181,0	221,0	257,0	320,0	397,0
	$P_{B \min}^{СТ}$	10	22,0	33,0	41,0	95,0	121,0	121,0	151,0	201,0	321,0
	$P_{B \max}^{СТ}$	16	32,0	40,0	94,0	150,0	150,0	250,0	250,0	400,0	400,0

Для гусеничных тракторов весь возможный диапазон  $M_{Э}$  разбивается на две группы различных по назначению тракторов, и на остальные тяговые классы в каждой группе, как показано в таблице 5.

Таблица 5 – Распределение тяговых классов по назначению гусеничных тракторов

№ п/п	Назначение трактора	Тяговый класс					
1.	Специальные	2	-	-	-	-	-
2.	Общего назначения	-	3	4	5	6	8

Проведенный, аналогично вышеизложенному для гусеничных тракторов, анализ дает следующие оценки показателей  $F_{ТГ}$  и  $N_{ЭГ}$ .

$$F_{ТГ} = 4,9M_{Э} \text{ кН.}$$

$$N_{ЭГ} = \begin{cases} [70 + 15,426(M_{ЭГ} - 4,59)] \text{ кВт, где } 4,59 \text{ т} \leq M_{ЭГ} \leq 10,1 \text{ т} \\ [155 + 21,778(M_{ЭГ} - 10,1)] \text{ кВт, где } 10,1 \text{ т} \leq M_{ЭГ} \leq 12,855 \text{ т} \\ [215 + 19,815(M_{ЭГ} - 12,855)] \text{ кВт, где } 12,855 \text{ т} \leq M_{ЭГ} \leq 18,365 \text{ т} \end{cases}$$

Исходный типоразмерный ряд для  $\overline{M}_{ЭГ}$  имеет вид, приведенный в таблице 6.

Таблица 6 – Ряд средних значений эксплуатационной массы гусеничных тракторов в тяговых классах от 2 до 8

Номер члена ряда	1	2	3	4	5	6
$\overline{M}_{ЭГ}$ , Т	4,59	6,43	8,265	10,1	12,855	18,365

Данный ряд, в целом, также не является стандартным, однако его можно представить состоящим из двух стандартных рядов, а именно производного ряда R20/3 и основного R10, приведенных для основных показателей в таблице 7.

Таблица 7 – Взаимосвязь тягово-мощностной классификации гусеничных сельскохозяйственных тракторов с основными рядами предпочтительных чисел по ГОСТ 8032-84

Показатель		Тяговый класс					
		2	3	4	5	6	8
1		2	3	4	5	6	7
Базовый показатель – эксплуатационная масса, $M_{Э}$ , т	$M_{Э \min}$	3,67	5,51	7,35	9,18	11,02	14,69
	$M_{Э \max}$	5,51	7,35	9,18	11,02	14,69	22,04
	$\overline{M}_{Э}$	4,59	6,43	8,26	10,41	12,86	18,37
	Номер члена ряда	1	2	3	4	5	6
	Предпочтительное число, $\tau_M$	производный стандартный ряд R20/3		основной стандартный ряд R10			
		4,50	6,30	8,00	10,0	12,5	16,0
Номинальное тяговое усилие $F_T$ , кН	$F_{T \min}$	17,98	27,0	36,0	45,0	54,0	72,0
	$F_{T \max}$	27,0	36,0	45,0	54,0	72,0	108,0
	$\overline{F}_T$	22,49	31,49	40,5	51,0	64,2	80,8
	Предпочтительное число, $\tau_F$	22,4	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0
Мощность на ВОМ при номинальной частоте вращения вала двигателя, $P_B$ , кВт	$P_{B \min}^P$	50,0	84,2	112,5	140,8	175,0	251,0
	$P_{B \max}^P$	84,2	112,4	140,8	175,0	251,0	397,0
	$P_{B \min}^{СТ}$	41,0	59,0	95,0	95,0	151,0	251,0
	$P_{B \max}^{СТ}$	94,0	120,0	150,0	200,0	250,0	400,0

Таким образом, среднее значение показателей в таблицах 4 и 7 выбираются из типоразмерных рядов R5, R10 и R20/3, при этом наблюдающиеся отклонения значений  $\tau_M$  от  $\overline{M}_{ЭК}$  и  $\overline{M}_{ЭГ}$ , а также  $\tau_F$  от  $\overline{F}_K$  и  $\overline{F}_T$  не являются значительными.

Предлагаемый подход к выбору типажа тракторов с/х назначения является достаточно простым и позволяет научно-обоснованно выбрать значения основных массовых и тягово-мощностных показателей тракторов в зависимости от их функционального назначения. При этом степень балластирования колесных тракторов вышеприведенных типоразмерных рядов находится в диапазоне 33,4...55,5% конструкционного веса.

Общая характеристика двухпараметрической структуры типажа сельскохозяйственных тракторов и мобильных энергетических средств приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Типоразмерные ряды тяговых классов и мощностных разрядов сельскохозяйственных тракторов

Тягов ый класс	Тяговое усилие, кН	Мощностной разряд			
		колесные тракторы		гусеничные тракторы	
		№ разряда	нижняя и верхняя границы, кВт	№ разряда	нижняя и верхняя границы, кВт
1	2	3	4	5	6
0,1*	0,3-1,4	1	3-5,5/3-5**		
0,2	1,8-5,4	2	11-19/10-17		
0,6	5,4-8,1	3	20-35/18-32		
0,9	8,1-12,6	4	36-44/33-40		
1,4	12,6-18	5	46-65/41-58		
		6	66-105/59-94		
2	18-27	7	106-134/95-120	5	46-65/41-58
		8	135-168/121-150	6	66-105/59-94
3	27-36			6	66-105/59-94
		8	135-168/121-150	7	106-134/95-120
4	36-45	8	135-168/121-150	7	106-134/95-120
		9	169-224/151-200	8	135-168/121-150
		10	225-280/201-250		
5	45-54	9	169-224/151-200	7	106-134/95-120
		10	225-280/201-250	8	135-168/121-150
				9	169-224/151-200
6	54-72	10	225-280/201-250	9	169-224/151-200
		11	281-358/251-320	10	225-280/201-250
		12	359-448/321-400		
8	72-108	12	359-448/321-400	11	281-358/251-320
				12	359-448/321-400

\* Одноосные малогабаритные тракторы (мотоблоки) с конструкционной массой 50-120 кг, тяговое усилие не регламентируется.

\*\* В числителе указана номинальная мощность по ISO 14396, в знаменателе – эксплуатационная по ГОСТ 18509.

Качественные отличия разработанного типажа тракторов от ранее существовавших:

1. Двухпараметрическая классификация:

1.1. Тяговый класс с диапазоном эксплуатационной массы и минимальной эксплуатационной массой базовой модели.

1.2. Мощностной разряд с эксплуатационной мощностью базовой модели.

1.3. Согласование с рядом предпочтительных чисел.

2. Введение в типаж малогабаритной техники.

3. Введение понятия «Семейство (серия) – ряд моделей на основе базовой модели, имеет то же значение главного параметра и различия в конструкции, изменяющие область применения трактора или специализирующие его назначение».

4. Требования к техническому уровню.

4.1. Категории применения элементов автоматизации.

4.2. Максимальное подъемное усилие передней и задней навесных систем.

4.3. Допустимый отбор мощности.

4.4. Тип трансмиссии.

4.5. Удельная материалоемкость.

4.6. Удельный расход топлива при эксплуатационной мощности.

Представленный типаж тракторов содержит рекомендации по согласованию российских стандартов по эксплуатационной мощности двигателя и тяговому классу со стандартами ИСО по номинальной мощности двигателя и категориям максимальной тяговой мощности на бетонном основании.

При разработке алгоритма приведения тяговых показателей колесного трактора, измеренных на бетоне по стандарту OECD требуется определить для условий на стерне:

$F_{кр}^c, V_{тр}^c, P_{кр}^c, \eta_{тр}^c$  при  $\delta^c = 15\%$  ( $\eta_{\delta}^c = 0,85$ ),

и равных теоретических скоростях:

$$V_{теор.} = \frac{V_{тр}^b}{\eta_{\delta}^b} = \frac{V_{тр}^c}{\eta_{\delta}^c} \quad \text{или} \quad \frac{V_{тр}^b}{1 - \delta^b} = \frac{V_{тр}^c}{1 - \delta^c}$$

1) Определение скорости на стерне.

$$V_{тр}^c = \frac{V_{тр}^b}{\eta_{\delta}^b} \cdot \eta_{\delta}^c = \frac{V_{тр}^b}{(1 - \delta^b)} \cdot (1 - \delta^c) = 0,85 \frac{V_{тр}^b}{1 - \delta^b} \quad (8)$$

2) Определение тягового усилия на стерне.

$$F_{кр}^c = F_{кр}^b - G_{тр} (f_c - f_b), \quad (9)$$

где  $f_c; f_b$  - соответственно, коэффициенты сопротивления качению трактора на асфальтобетоне и стерне.

3) Определение тяговой мощности на стерне.

$$P_{кр}^c = 0,85 \cdot \left[ F_{кр}^b - G_{тр} (f_c - f_b) \right] \cdot \frac{V_{тр}^b}{\eta_{\delta}^b}. \quad (10)$$

4) Определение условного тягового кпд на стерне.

$$\eta_{тр}^c = \frac{P_{кр}^c}{P_e} = \frac{P_{кр}^c}{P_{п} \cdot 0,9}. \quad (11)$$

**В пятой главе** «Определение технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах» представлены методики оценки потребности в сельскохозяйственных тракторах в зависимости от решения конкретных задач.

В основе расчета нормативов потребности в тракторах (таблица 9) положены перспективные технологические карты производства сельскохозяйственных культур, предусматривающие выполнение всех операций в оптимальные агросроки, а также распределение объемов работ между тракторами, которое обеспечивает рациональную загрузку их в течение года. Первичную оптимизацию провели на линейных графиках, благодаря которым были выделены напряженные периоды и выделены их объем работ.

В качестве эталонных машин приняты тракторы ТЭ-120 и ТЭ-150 (марки условные).

Первый соответствует современному техническому уровню, что позволяет производить расчеты до 2030 г. Второй эталонный образец может использоваться в расчетах после 2030 г.

Трактор с условной маркой ТЭ-120 – гусеничный, эксплуатационная мощность – 88,2 кВт, ширина захвата пахотного агрегата – 2,24 м, коэффициент использования времени смены – 0,79, производительность в час сменного времени – 1,15 га.

Трактор с условной маркой ТЭ-150 – гусеничный, эксплуатационная мощность – 110,3 кВт, ширина захвата пахотного агрегата – 2,59 м, коэффициент использования времени смены – 0,75, производительность в час времени – 1,5 га.

Таблица 9 – Нормативы потребности в сельскохозяйственных тракторах (в эталонных единицах на 1000 га пашни)

Федеральный округ	Агрозоны	Эталонный трактор ТЭ-120			Эталонный трактор ТЭ-150		
		в парке			в парке		
		всего	в т.ч. кол.	в т.ч. гус.	всего	в т.ч. кол.	в т.ч. гус.
Россия	В целом	12,3	6,6	5,7	10,2	5,4	4,8
1. Центральный	1.1	10,10	8,6	1,5	8,5	7,3	1,2
	1.2	15,3	9,7	5,6	12,7	7,8	5,1
2. Северо-Западный	2	11,2	9,3	1,9	9,2	7,6	1,2
3. Южный	3.1	15,7	8,9	6,8	12,4	7,3	5,4
	3.2	16,0	8,8	7,2	12,7	7,2	5,5
	3.3	16,2	9,1	7,1	12,8	7,5	5,6
	3.4	10,6	5,2	5,4	10,3	2,3	4,3
4. Приволжский	4.1	10,3	6,6	3,7	8,2	5,5	2,7
	4.2	11,5	5,7	5,8	9,5	4,5	5,0
	4.3	12,1	7,5	4,6	10,2	6,1	4,1
5. Уральский	5.1	10,4	6,0	4,4	8,2	3,6	3,6
	5.2	13,2	6,4	6,8	10,6	5,2	5,2
6. Сибирский	6.1	11,0	6,7	4,3	9,0	5,4	3,7
	6.2	10,3	6,5	3,8	8,4	4,7	3,6
7. Дальневосточный	7.1	2,2	2,0	0,2	2,0	1,8	0,2
	7.2	12,0	4,2	7,8	10,0	3,3	6,7
8. Северо-Кавказский	8.1	16,9	8,5	8,4	12,7	2,6	5,5
	8.2	15,7	8,9	6,8	12,4	7,3	5,4

При существующем многообразии конструкций и марок машин очень трудно выбрать нужную для сельскохозяйственных предприятий технику и обосновать потребность в ней.

Рассматривая конкурирующие модели необходимо учитывать показатели технического уровня, влияющие на сменную производительность. Всего предлагается учитывать 19 показателей (таблица 10).

Сравнить потенциальную эффективность тракторов с учетом различий в техническом уровне позволяет компьютерное моделирование сменной производительности пахотных агрегатов в эталонных условиях.

Таблица 10 – Показатели технического уровня трактора, учитываемые при моделировании сменной производительности пахотных агрегатов

Система	Показатели
Трактор	Эксплуатационная масса, $m_э$ , кг Автоматизация управления поворотом Расположение пульта управления: справа (по центру) Минимальный радиус поворота, м
Двигатель	Эксплуатационная мощность $P_n$ , кВт Коэффициент запаса крутящего момента, $K_{зап}$
Трансмиссия	Механическая: ПСР, ПНХ, АПНХ Отношение передаточных чисел, $q$ Гидромеханическая Гидрообъемная
Колёсный движитель	Колёсная формула: 4К2, 4К4а, 4К4б
Гусеничный движитель	Металлическая гусеница: МШ, РМШ Резиноармированная гусеница: ФЗ, ЦЗ

ПСР – переключение с разрывом потока мощности;  
ПНХ – переключение на ходу;  
АПНХ – автоматическое переключение на ходу;  
 $P_n$  – мощность эксплуатационная  
(по ГОСТ 18509-88 или ISO)

МШ – металлический шарнир;  
РМШ – резино-металлический шарнир;  
ФЗ – фрикционное зацепление;  
ЦЗ – цевочное зацепление.

Определенная в соответствии с техническим уровнем ходовой системы потенциальная тяговая характеристика и заданная характеристика зависимости удельного сопротивления плуга от скорости позволяют найти рабочую ширину  $B$  и рабочую начальную скорость агрегата  $V_0$  при полной загрузке двигателя (с учетом агротехнических ограничений).

С учетом затрат времени на повороты, переезды, технологическое обслуживание определяется начальное значение коэффициента использования времени смены  $\tau_0$ .

Начальные значения рабочей скорости и коэффициента использования времени смены подлежат уточнению в соответствии с показателями технического уровня трактора (рисунок 6).

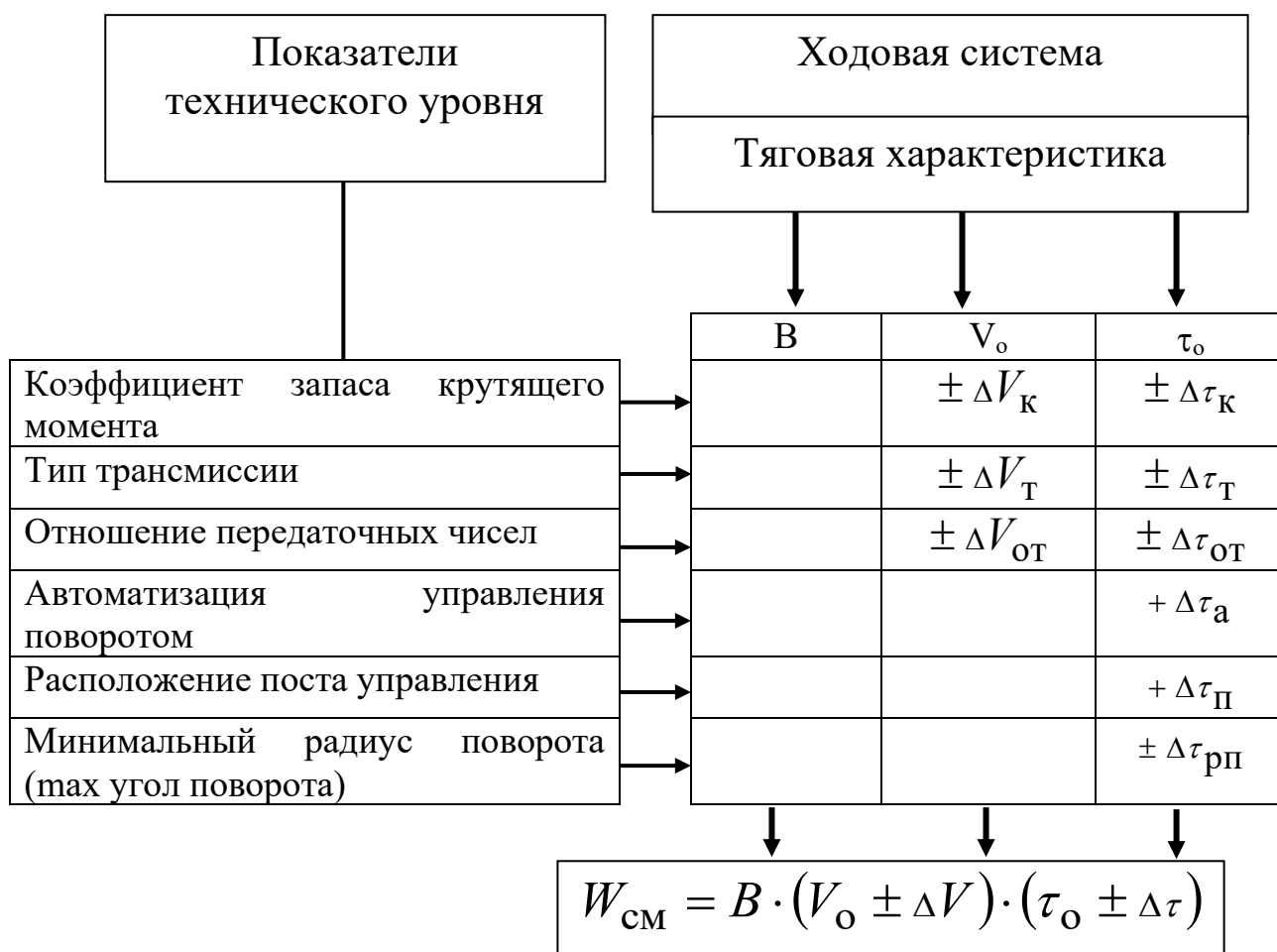


Рисунок 6 – Последовательность учета показателей технического уровня трактора при моделировании сменной производительности пахотного агрегата

Описанная последовательность расчета сменной производительности пахотного агрегата была использована при разработке «Методических рекомендаций по определению нормативной потребности в сельскохозяйственной технике для растениеводства». В данных методических указаниях приведены значения потенциальной производительности пахотных агрегатов в эталонных условиях для 126 марок тракторов, представленных на российском рынке, включая 42 – РФ, 48 – СНГ, 36 – Дальнего зарубежья.

Результаты расчета технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах для агрозон России, в условных эталонных единицах, представлены в таблице 11.

При прогнозе развития парка тракторов до 2030 г. необходимо учесть возрастание средней мощности тракторов в парке с 99,4 л.с. в 2010 г. до 140-145 л.с. в 2030 г., что в сочетании с повышением технического уровня тракторов позволит технологически потребный физический парк ограничить количеством 900 тыс. эт. тракторов для 90 млн га пашни.

Таблица 11 – Технологическая потребность в сельскохозяйственных тракторах для РФ

Федеральный округ	Агрозоны	Эталонный трактор ТЭ-120			Эталонный трактор ТЭ-150		
		в парке			в парке		
		всего	в т.ч. кол.	в т.ч. гус.	всего	в т.ч. кол.	в т.ч. гус.
Россия	В целом	1438940	772114	666826	1193267	631730	561538
1. Центральный	1.1	126098	107371	18727	106122	91140	14982
	1.2	155668	98691	56976	129214	79360	51889
2. Северо-Западный	2	33265	27621	5643	27324	22572	3564
3. Южный	3.1	157084	89048	68036	124067	73039	54029
	3.2	110432	60737	49694	87655	49694	37961
	3.3	20327	11418	8909	16061	9411	7026
	3.4	2346	1151	1195	2280	509	952
4. Приволжский	4.1	43657	27974	15682	34756	23312	11444
	4.2	314446	155856	158591	259760	123044	136716
	4.3	40509	25109	15400	34148	20422	13726
5. Уральский	5.1	26540	15312	11228	20926	9187	9187
	5.2	68350	33139	35211	54887	26926	26926
6. Сибирский	6.1	179687	109446	70241	147016	88210	60440
	6.2	52368	33048	19320	42708	23896	18303
7. Дальневосточный	7.1	2850	2591	259	2591	2332	259
	7.2	28981	10143	18837	24151	7969	16181
8. Северо-Кавказский	8.1	25890	13022	12868	19456	3983	8426
	8.2	62231	35277	26953	49151	28935	21404

**В шестой главе** «Проблемы информационного и методического обеспечения формирования парка сельскохозяйственных тракторов» разработана система мониторинга тракторного парка, проведена производственная проверка системы мониторинга, оптимизации и прогнозирования тракторного парка на примере регионального АПК.

Цель инженерного мониторинга – получение достоверной информации по количественному и качественному составу парка машин и оборудования, темпам его обновления и пополнения, организации технического сервиса и эффективности техники при различных правовых формах организации использования.

Мониторинг парка сельскохозяйственной техники для растениеводства предусматривает систематический сбор информации, ее обработку, хранение и использование для разработки прогнозов, рекомендаций по использованию, маркетинговых обобщений. В связи с перечисленными вариантами использования результатов мониторинга в качестве информационных задач необходимо выделить следующие:

А. Обоснование информационных массивов.

Б. Систематизация регистрируемых характеристик объектов мониторинга.

В. Накопление базы данных для разработки прогноза развития парка.

Целью компьютеризированного технического мониторинга парка сельскохозяйственных тракторов является получение систематизированной информации, отражающей реальное текущее состояние МТП, позволяющей в сочетании с набором математических моделей в отношении тракторного парка обеспечить:

- анализ количественной динамики и качественного состояния;
- прогноз развития;
- разработку технической политики в области тракторостроения;
- разработку типажа тракторов;
- разработку концепции развития;
- маркетинг;
- формирование заказа на производство;
- разработку рекомендации по рациональному использованию.

В соответствии с задачами мониторинга МТП можно перечислить необходимые для его реализации базовые математические модели:

- определение основных массо-энергетических характеристик тракторов;
- расчет первоочередных комплексов (наборов) машин;
- определение экономической эффективности тракторов с комплексами машин;
- определение оптимального машинно-тракторного парка хозяйства;
- определение оптимального МТП зоны, страны;
- определение нормативной выработки и расхода топлива (эксплуатационно-технологические показатели);
- определение нормативных показателей надежности;
- определение возрастной структуры тракторного парка;
- определение параметров агрегатирования тракторов с сельхозмашинами.

Структурно-функциональную схему образуют:

- специализированная мониторинговая служба, отвечающая требованиям «Положения о специализированной мониторинговой службе», располагающая методикой проведения мониторинга, должностными инструкциями, материальной базой;
- информационные объекты – мобильные энергетические средства сельскохозяйственные машины, МТА, МТП и региональные условия производства сельскохозяйственной продукции;
- источники информации и субъекты принятия управленческих решений: хозяйство, район, область, регион, федерация;
- программно-вычислительный комплекс, включающий:
  - базы данных, содержащие информацию о состоянии информационных объектов, представляющих как отдельные элементы, так и в целом парк, а также по состоянию разработки перспективных элементов;
  - виртуальные аналоги объектов мониторинга;
  - методики и программное обеспечение оптимизации характеристик объектов мониторинга и прогнозирования их технологической потребности.

- результаты обработки и анализа в виде справочных материалов, рекомендаций, данных маркетинга, прогноза, Системы машин и технологий и концепций развития.

Организационно-техническое обеспечение мониторинга базируется на бортовых компьютерах МТА и автоматизированных рабочих местах организатора производства растениеводческой продукции с привлечением НИИ Минобрнауки и МСХ РФ, Информационно-консультационных служб различных уровней и Специализированной мониторинговой службе, подчиняющейся Центральной мониторинговой службе.

Для оценки парка МЭС с точки зрения его эффективности в условиях эксплуатации разработана научно-обоснованная совокупность показателей.

Система показателей имеет следующую классификацию:

- показатели первого (начального уровня) – это исходная элементарная информация, полученные путем обычного сбора данных из различных источников и используемая в качестве дальнейшей систематизации и анализа. Показатели данного типа включают: количество тракторов, год выпуска, страна, производитель, марка, модель, семейства, паспортные технические характеристики;

- показатели второго уровня – проанализированная информация первого уровня, систематизированная, классифицированная и представленная в удобном для дальнейшего анализа виде, предназначена для оценки эффективности парка тракторов. Показатели данного типа включают: средняя мощность, часовая сменная производительность, средний возраст и т.д.;

- показатели третьего уровня – это новая информация, полученная в результате анализа показателей первых двух уровней и других показателей сельскохозяйственного производства, предназначена для оценки эффективности сельскохозяйственного производства. Показатели данного типа включают: тракторооснащенность, энергообеспеченность, нагрузка на трактор, количество рабочих мест на трактор, количество сельскохозяйственных машин на трактор и т.д.

Производственную проверку технологии мониторинга, оптимизации и прогнозирования состава тракторного парка для растениеводства провели на примере Республики Башкортостан (РБ).

На основании полученных данных были рассчитаны показатели оценки фактического состояния тракторного парка, представленные в таблице 12.

Полученные данные о наличии сельскохозяйственных тракторов в машинно-тракторном парке РБ были обработаны и представлены в виде количественно-возрастной структуры.

Рассматривая количественно-возрастную структуру парка тракторов РБ необходимо определить оптимальное количество из условия минимизации совокупных затрат  $Z^{\Sigma}$  (рисунок 7).

Для нахождения точки списания необходимо найти минимум совокупных затрат  $Z^{\Sigma}$ :

$$Z^{\Sigma} = Z_{CA}(n^{CA}) + Y_a(\tau) \Rightarrow \min \quad (12)$$

где  $Z_{CA}$  – перерасход денежных средств на использование тракторов, работающих сверх срока амортизации, руб.;

$Y_a(\tau)$  – недобор и потери урожая, из-за снижения тракторосооруженности, приводящей к нарушению агросроков, руб.

Таблица 12 – Основные показатели оценки фактического состояния тракторного парка агропромышленного комплекса РБ

Показатель	Значение
Количество, тр.	14560
Суммарная мощность, л.с.	1822470,5
Средняя мощность, л.с.	125
Средняя мощность в закупке, л.с.	193
Средняя масса, кг	6010
Средняя масса в закупке, кг	7893
Средняя энергонасыщенность, кВт/кН	1,54
Средняя энергонасыщенность в закупке, кВт/кН	1,8
Соотношение тракторов тяговой и тягово-энергетической концепции, %	96,3/3,7
Максимальный возраст, лет	47
Средний возраст, лет	19,9
Соотношение колесных и гусеничных, %	85,7/14,3
Соотношение российских и зарубежных, %	22,8/77,2
Доля за сроком амортизации, %	75
Количество моделей, шт	185
Тракторосооруженность, тр./тыс. га	4,93
Энергообеспеченность, л.с./тыс. га пашни	617,3

Перерасход денежных средств, связанный с эксплуатацией парка тракторов за сроком амортизации найдем по формуле:

$$Z_{CA} = \sum_i \sum_j n_{ij}^{CA} (\Delta P_{ij}^{CA} + \Delta \Gamma_{ij}^{CA}), \quad (13)$$

где  $n_{ij}^{CA}$  – количество тракторов  $i$ -й марки  $j$ -го возраста, работающих сверх срока амортизации, тр.;

$\Delta P_{ij}^{CA}$  – превышение затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов  $i$ -й марки  $j$ -го возраста, работающих сверх срока амортизации, руб./тр.;

$\Delta \Gamma_{ij}^{CA}$  – превышение затрат на топливо-смазочные материалы тракторов  $i$ -й марки  $j$ -го возраста, работающих сверх срока амортизации, руб./тр.

Потери урожая, связанные со снижением тракторосооруженности при постоянном коэффициенте технической готовности:

$$\Delta Y_a = \frac{n \cdot \gamma \cdot y \cdot \varphi \cdot \delta \cdot A_n}{K_{mz} \cdot \gamma_{норм}} \cdot \Delta \gamma, \quad (14)$$

где  $n$  – количество тракторов в парке, тр.;  $\gamma$  – нагрузка на трактор, га/тр.;  $y$  – урожайность, кг/га;  $\varphi$  – стоимость одного килограмма урожая, руб./кг;  $\delta$  – потери урожая при отклонении от нормативного агросрока на один день,  $дн^{-1}$ ;  $A_n$  – нормативная продолжительность агросрока,  $дн.$ ;  $K_{mz}$  – коэффициент

технической готовности парка;  $\gamma_{норм}$  – нормативная нагрузка на трактор, га/тр.;  $\Delta\gamma$  – увеличение нагрузки на трактор, га/тр.

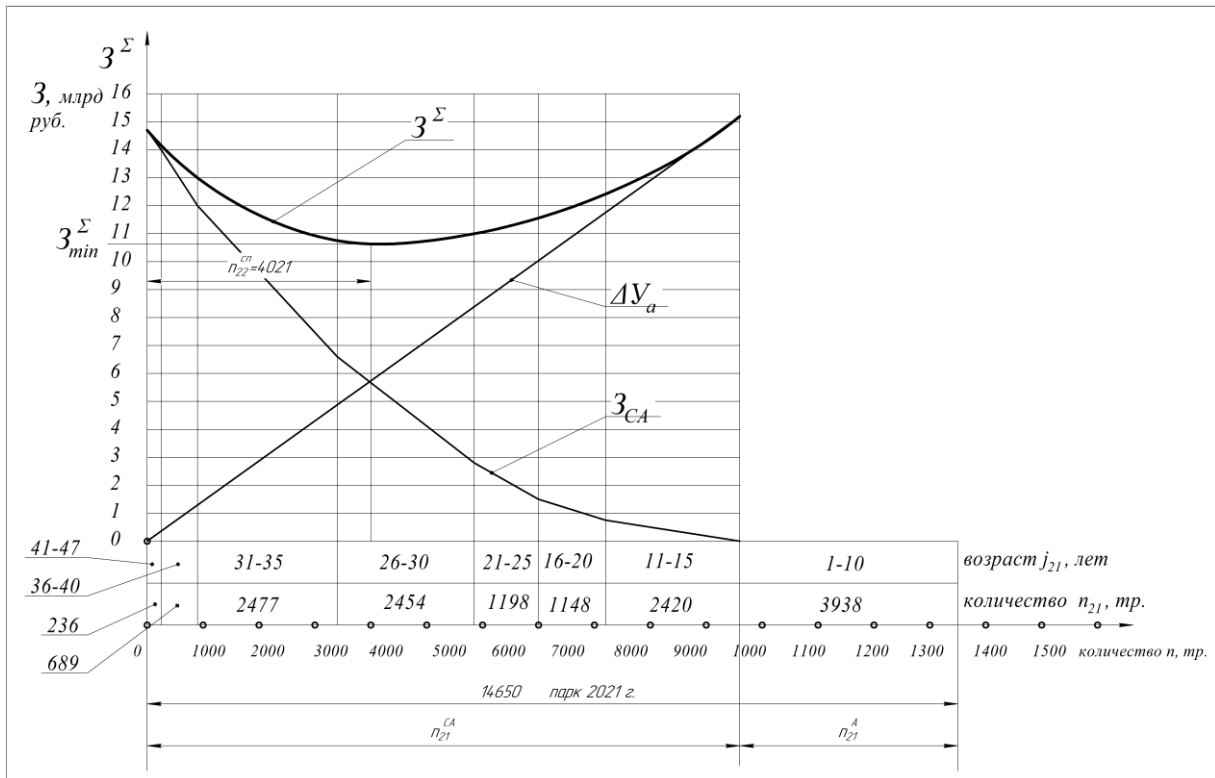


Рисунок 7 – Определение сокращения тракторного парка в 2021 г. из числа эксплуатируемых сверх срока амортизации, как соответствующих минимальным совокупным затратам  $Z_{min}^{\Sigma}$

В рассмотренном примере тракторный парк 2021 г. составлял 14560 тр. с предельным возрастом 47 лет. Проведенные в соответствии с указанной методикой расчеты позволили оценить для парка 2021 г. минимальные значения части совокупных затрат  $Z_{min}^{\Sigma}$ , составляющих сумму затрат в размере 10,9 млрд руб. (рисунок 7) при списании 4021 тр. максимальный возраст тракторов в парке составит 30 лет.

Расчет прогнозной потребности в общем количестве тракторов в эталонных единицах для текущей площади пашни РБ:

$$N_{ЭТ}^T = \frac{n_T \cdot S_{п}}{1000} = \frac{2952100 \cdot 9,5}{1000} = 28045. \quad (15)$$

где  $N_{ЭТ}^T$  – количество тракторов в эталонных единицах, эт. ед;

$n_T$  – норматив потребности в тракторах на 1000 га пашни;

$S_{п}$  – площадь пашни, га.

В физических единицах потребность в тракторах:

$$N_{Физ}^T = \frac{N_{ЭТ}^T}{K_{ср}^Y} = \frac{28045}{1.35} = 20774. \quad (16)$$

где  $N_{Физ}^T$  – количество тракторов в физических единицах, шт.;

$K_{ср}^Y$  – средний условный коэффициент.

На рисунке 8 показана количественно-возрастная структура тракторного парка РБ в 2030 г. при соблюдении плана его обновления. При этом тракторный парк будет иметь средний возраст техники 20,8 лет, против 19,9 лет в 2021 году.

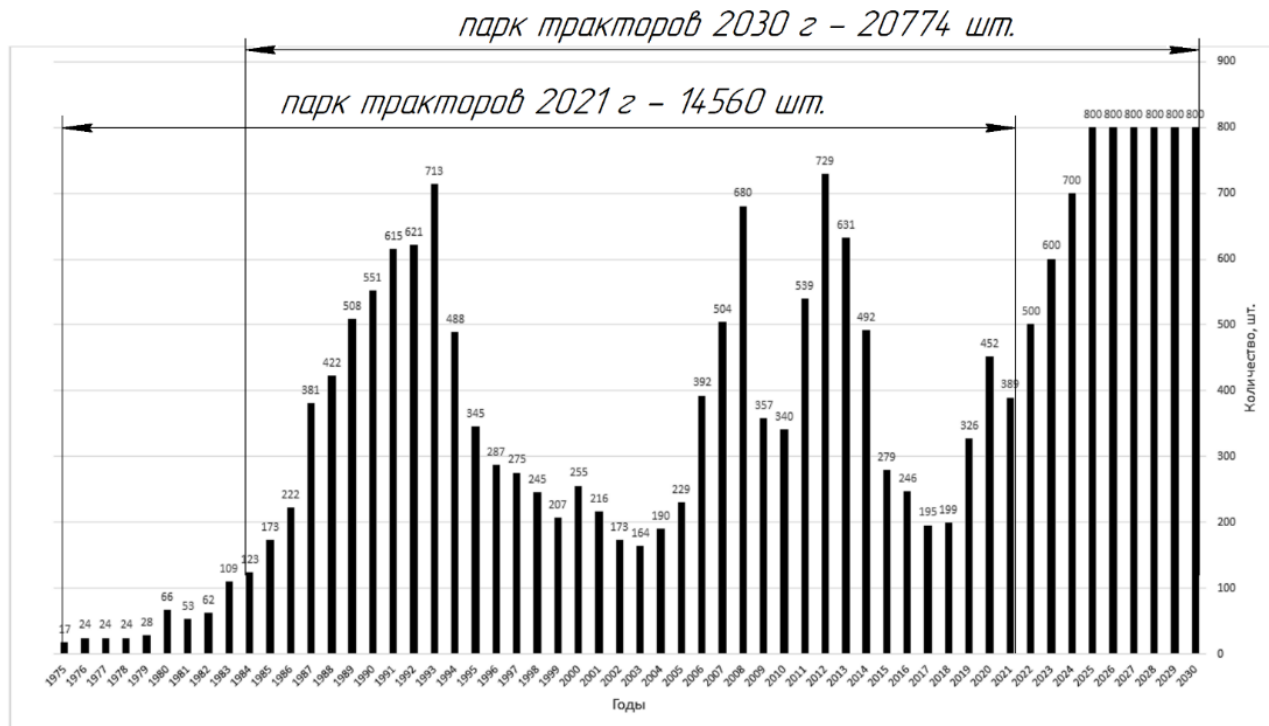


Рисунок 8 – Количественно-возрастная структура тракторного парка РБ

Из рисунка 8 видно, что для формирования парка тракторов 20774 шт. к 2030 г. (с сохранением текущего срока службы тракторов в парке) необходимо, чтобы годовые закупки тракторов 2024 г. составляли 700 шт., а в 2025-2030 гг. – по 800 шт.

**В седьмой главе «Экономическая эффективность научно-обоснованных основ развития системы мобильных энергетических средств»** приведены результаты оценки экономической эффективности технологического направления развития сельскохозяйственного трактора, двухпараметрической классификации, методики определения технологической потребности и системы мониторинга реального парка.

Эффективность технологического направления, связанного с уменьшением конструкционной массы с одновременной разработкой ходовых систем с повышенными тягово-сцепными качествами при увеличении коэффициента использования сцепного веса колесного движителя до 0,5, проводилась с применением «Методики топливно-энергетической оценки производства продукции растениеводства» для определения возможностей повышения энергетической эффективности колесного трактора тягового класса 1,4 в 1,5 раза в полном жизненном цикле за счет уменьшения конструкционной массы и уменьшения расхода топлива при возможном повышении производительности машинно-тракторных агрегатов на базе этого трактора в условиях годовой загрузки в Московской области.

Методической особенностью в этом случае должно быть обоснование максимально достижимых в настоящее время уменьшении конструкционной массы трактора  $M_{\text{тр}}$  и минимального расхода топлива двигателя  $g_{e,\text{min}}$  и повышении сменной производительности машинно-тракторных агрегатов  $W_{\text{см}}$ .

В результате преобразований уравнений, с учетом соотношений:

$$\frac{M_{\text{тр}}^{\text{H}}}{M_{\text{тр}}^{\text{б}}} = a, \quad \frac{g_{\text{е}}^{\text{H}}}{g_{\text{е}}^{\text{б}}} = b, \quad \frac{W_{\text{см}}^{\text{H}}}{W_{\text{см}}^{\text{б}}} = c.$$

получим:

$$\bar{\Delta}\mathcal{E}_{\text{w}}^{\text{нк}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{тр}}^{\text{б}} \left(1 - \frac{a}{c}\right) + \mathcal{E}_{\text{топ}}^{\text{б}} \left(1 - \frac{b}{c}\right)}{\mathcal{E}_{\text{тр}}^{\text{б}} + \mathcal{E}_{\text{топ}}^{\text{б}}} \quad (17)$$

Таким образом, задача сводится к определению энергозатрат трактора  $\mathcal{E}_{\text{тр}}^{\text{б}}$  и топлива  $\mathcal{E}_{\text{топ}}^{\text{б}}$  по базовому варианту и коэффициентов (a), (b), (c), соответствующих характеристикам нового комплекса машин для всего спектра выполняемых сельскохозяйственных работ.

Предложенная методика была апробирована при сравнении энергетической эффективности перспективного экологически безопасного трактора тягового класса 1,4 и базового трактора Беларусь 1025, производства Минского тракторного завода Республики Беларусь.

Полученные значения  $\mathcal{E}_{\text{тр}}^{\text{б}}$  и  $\mathcal{E}_{\text{топ}}^{\text{б}}$  позволяют привести формулу (17) с вычислением результата в % к виду:

$$\bar{\Delta}\mathcal{E}_{\text{w}}^{\text{нк}} = 11 \left(1 - \frac{a}{c}\right) + 89 \left(1 - \frac{b}{c}\right) \quad (18)$$

Полученное уравнение (18) для принятых значений отношений сменной производительности и удельного расхода топлива и масс тракторов позволяет определить относительное снижение полных удельных топливно-энергетических затрат по спектру технологических операций, с учетом средневзвешенных значений годовой занятости  $\tau_{\text{г}}$  по отдельным операциям.

Таким образом, проведенная по упрощенной методике без определения объемов произведенной продукции оценка показала, что снижение полных удельных энергозатрат выполнения технологических операций новым комплексом машин, включающим машины с активными рабочими органами, совмещающими функции движителей и технологическим модулем, с экологически безопасным трактором класса 1,4 по сравнению с базовым вариантом (трактор «Беларус» 1025) в условиях Московской области составит 34,3%.

Представленный на рисунке 9 график является общим результатом исследования и рекомендуется для использования при решении проблем повышения энергетической эффективности мобильных энергетических средств.

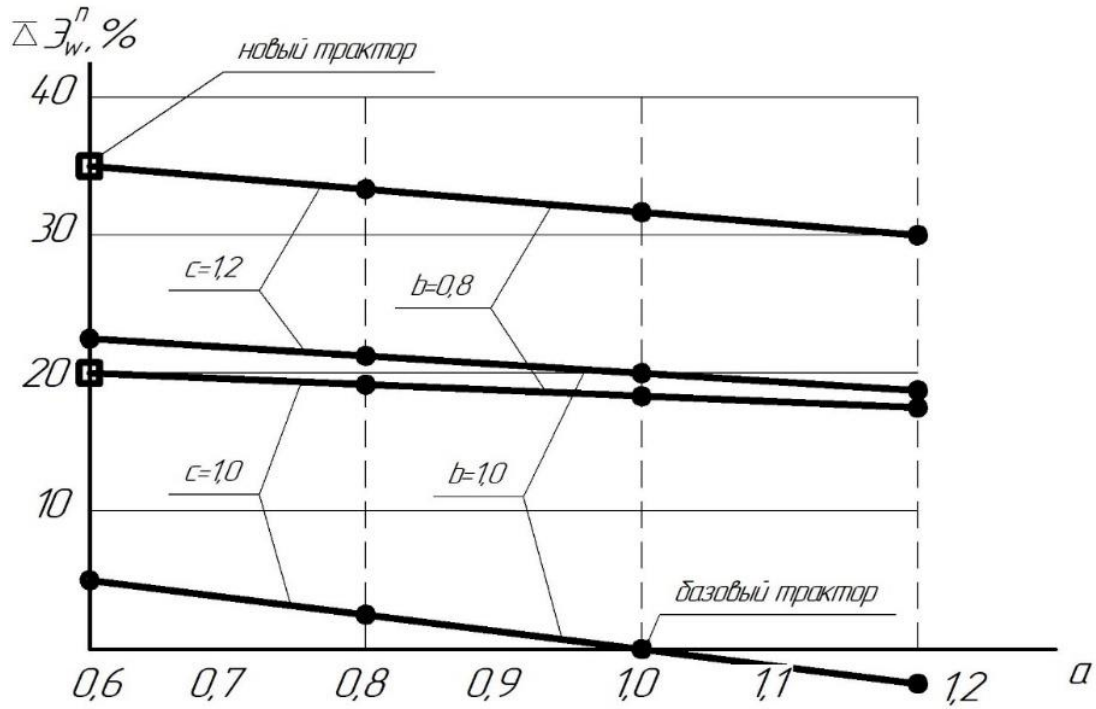


Рисунок 9 – Относительное снижение полных удельных топливно-энергетических затрат  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_w^n$  в зависимости от повышения производительности  $c$ , уменьшения расхода топлива  $b$  и уменьшения конструкционной массы  $a$

Эффективность применения тракторов одного тягового класса, но разных мощностных разрядов рассмотрена на примере тягового класса 1,4, 5 и 6 мощностных разрядов.

В качестве основного критерия эффективного применения тракторов одного тягового класса, но разных мощностных разрядов принимаем удельный (погектарный,  $q_{га}$ ) расход топлива, а дополнительного – сменную производительность ( $W_{см}$ ):

$$q_{га} = f(q_e, N_e, K_3, W_{см}) \rightarrow \min, \quad (19)$$

$$W_{см} = f(B_p, V_p, \tau_{см}) \rightarrow \max, \quad (20)$$

где  $q_e$  – удельный расход топлива;

$N_e, K_3$  – соответственно номинальная эксплуатационная мощность трактора и коэффициент ее использования;

$B_p, V_p$  – рабочие ширина захвата МТА и скорость движения;

$\tau_{см}$  – коэффициент использования времени смены.

Значения критериев оценки определены расчетным методом, по фактической исходной информации, для одинаковых условий. Режим работы МТА определяют путем решения уравнения энергобаланса трактора с технологическим адаптером с учетом допустимого коэффициента загрузки двигателя по моменту и допустимой по агротехническим ограничениям рабочей скорости. Коэффициент использования времени смены рассчитывают по специальной методике. Составляющие баланса времени смены приняты по ГОСТ 24055-2016 – «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки». Оценку эффективного применения тракторов

различных мощностных разрядов проведена на примере агрегатов с тракторами БЕЛАРУС 82.1 и БЕЛАРУС 921.3. Расчеты значений  $q_{га}$  и  $W_{см}$  проведены по отдельной оригинальной программе для типичных в европейской части России полей с длиной гонов 200-300, 400-600 и 600-1000 м. Условия работы МТА характеризуются удельным сопротивлением рабочих машин. К тяжелым отнесены почвы с удельным тяговым сопротивлением на вспашке – 1750 даН/м, средним – 1250 даН/м и легким – 1000 даН/м при средней глубине обработки (вспашка – 22 см).

Выполненные расчеты показали, что, например, при вспашке обычным отвальным трехкорпусным плугом легких (до 0,4 кГс/см<sup>2</sup>) почв во всем диапазоне длин гонов несколько эффективнее агрегаты с БЕЛАРУС 82.1. Они на 4% экономичнее при снижении производительности на 10%. На средних и тяжелых почвах по всем показателям преимущества у агрегатов с тракторами БЕЛАРУС 921.3.

На междурядной обработке кукурузы, где рабочие скорости ограничены 9 км/ч, агрегаты с трактором БЕЛАРУС 82.1 при одинаковой производительности экономичнее, чем с БЕЛАРУС 921.3.

На других операциях также прослеживается отмеченная закономерность – для каждого вида работ в конкретных природно-производственных условиях существует наименее энергоемкий агрегат с трактором определенного класса и мощностного разряда.

Эффективность применения методики определения технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах представлена как сопоставление рассчитанной технологической потребности и реального парка тракторов в виде недобора и потерь урожая, связанного с существующим дефицитом тракторов и зерноуборочных комбайнов в парке, на примере отрасли растениеводства АПК Калужской области.

Недобор и потери сельскохозяйственной продукции рассчитаны по методике ВИМа, исходными данными для расчета послужили средняя урожайность за период 2018-2022 гг., посевная площадь, обработанная информация о наличии и рассчитанная нормативная потребность в технике, нормативная продолжительность выполнения технологических операций, рассчитанная реальная продолжительность выполнения технологической операции, динамика недобора и потерь урожая в зависимости от нарушения начала и продолжительности агросрока.

Исходные данные и результаты расчета представлены в таблице 13.

Производственная урожайность, получена путем уменьшения действительной урожайности на первой операции, а затем последующих, взятых за базу, на величину недобора и потерь урожая на каждой последующей технологической операции, а не разница между действительной урожайностью и суммой всех недобора и потерь на каждой технологической операции.

Таблица 13 – Недобор и потери сельскохозяйственной продукции, связанные с дефицитом техники

Показатель	Наименование блока			
	Основная обработка	Предпосевная обработка	Посев	Уборка
Нормативная продолжительность, дн.	10	4	4	10
Фактическая продолжительность, дн.	12	7	8	14
Динамика потерь, %	$\Delta y_{oo}=f(T_{oo})$	$\Delta y_{по}=f(T_{по})$	$\Delta y_{п}=f(T_{п})$	$\Delta y_{у}=f(T_{у})$
Производственная урожайность, ц/га	$Y_{oo}=Y_{д}-Y_{д}*\Delta y_{oo}$	$Y_{по}=Y_{oo}-Y_{oo}*\Delta y_{по}$	$Y_{п}=Y_{по}-Y_{по}*\Delta y_{п}$	$Y_{у}=Y_{п}-Y_{п}*\Delta y_{у}$
Потери и недобор, ц/га	0,14	1,11	1,21	1,97
Урожайность, ц/га	32,89	31,78	30,57	28,60

Рассчитаны недобор и потери урожая, связанные с дефицитом технических средств в напряженные периоды сельскохозяйственных работ, которые составили 39 431,43 тонны.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ состояния проблемы развития тракторного парка во взаимодействии с пашней и трудовым потенциалом показал, что за период 1990-2023 гг. в сельскохозяйственных организациях России произошло устойчивое сокращение всех видов ресурсов (тракторного парка на 85 %, площади пашни на 46,6%, рабочих мест на 86%), характеризующее суженый тип воспроизводства. Установлено, что существующий государственный мониторинг не отражает реального состояния парка, так на основании разработанной базы данных выявлено, что в 2023 г. 60% тракторов в парке эксплуатируются за сроком амортизации в условиях дефицита. Существующие методы оптимизации состава МТП не применимы в условиях суженого воспроизводства.

2. Разработанная методология развития системы мобильных энергетических средств как технической системы, состоящей из четырех уровней и являющейся базовым элементом механизированного сельхозпроизводства, позволяет выделить приоритетные проблемы развития трактора, как технического субъекта построения типажа тракторов, определения технологической потребности в тракторах и формирования реального состояния тракторного парка, а также раскрыть внутренние для механизированного сельхозпроизводства связи по взаимодействию тракторного парка с площадью пашни и трудовым потенциалом.

3. Разработанное технологическое направление развития сельскохозяйственных мобильных энергетических средств на основе цифровизации заключается в повышении энергоэффективности и экологической безопасности в полном жизненном цикле за счет уменьшения конструкционной массы, расхода топлива и повышения производительности и включает примеры разработки исходных требований на семейства блочно-модульных энергетических средств класса 0,6-0,9 и колесно-гусеничных экологически безопасных тракторов классов 1,4 и 2-3, обеспечивающих за счет реализации агрофильной концепции: снижение давления ходовых систем на почву до

допустимых значений, при увеличении коэффициента сцепного веса до 0,5 для колесных и 0,7 для гусеничных тракторов, что позволяет с учетом повышения энергонасыщенности до 2,6 кВт/кН, снизить общие затраты энергии на выполнение единицы полезной работы в 1,3-1,5 раза при соблюдении требований экологической безопасности во всем спектре выполняемых работ.

Разработанная теория трактора при его работе как модульного энерготехнологического средства позволяет определить максимальное значение КПД ходовой части 0,75 при кинематическом несоответствии первого 1,06...1,08, и третьего 1,02...1,06 относительно второго.

4. Разработанная двухпараметрическая классификация типажа сельскохозяйственных тракторов содержит 11 тяговых классов с регламентированным по ГОСТ 27021-86 (кроме 0,1) номинальным тяговым усилием на стерне колосовых культур, сочетаемых с 12 мощностными разрядами в диапазоне от 3 до 400 кВт. С целью гармонизации с общеевропейскими и ОЭСР требованиями дополнена рекомендациями по согласованию с соответствующими стандартами ИСО и CODE 2. Позволяет в условиях развития рынка сельскохозяйственных машин с активными рабочими органами на 12-15% повысить эффективность машинно-тракторных агрегатов при выполнении соответствующих технологических операций.

5. Разработанная методика определения потребности в сельскохозяйственных тракторах позволяет провести научно-обоснованные расчеты количественного состава тракторного парка, обеспечивающего выполнение всех технологических операций производства растениеводческой продукции в оптимальные агросроки – 900 000 эт. тр. на площади пашни 90 млн га.

6. Разработанная методика оптимизации количественно-возрастного состава тракторного парка, базирующаяся на принципе разделения затрат на связанные с использованием тракторов до срока амортизации и сверх срока амортизации, позволяет на основании раскрытых закономерностей взаимодействия ресурсных составляющих механизированного сельхозпроизводства минимизировать совокупные затраты, учитывающие расходы на использование тракторов, работающих сверх срока амортизации (влияние возраста трактора на расход топлива, затраты на ТОР и коэффициент технической готовности), а также потери продукции машинных технологий, связанные с ресурсными характеристиками тракторного парка (возраст, количество, трактороснащенность). Проведенные расчеты для АПК РБ позволили определить на основе критерия минимума совокупных затрат оптимальный количественно-возрастной состав тракторного парка в количестве 10 539 тракторов с максимальным возрастом 30 лет.

7. Экономическая эффективность реализации научно-обоснованных основ развития системы мобильных энергетических средств составила:

- при сравнительной оценке технологического направления развития конструкции трактора – снижение энергетических затрат на 34%.
- при оценке эффективности разработанного типажа – снижение удельного расхода топлива от 4 до 6 % и повышение производительности от 5 до 7% на

различных технологических операциях при агрегатировании сельхозмашин тракторами одного тягового класса, но разных мощностных рядов;

- при оценке разработанной методики определения нормативной потребности и системы мониторинга машинно-тракторного парка – снижение потерь и недобора урожая 10-15% на различных технологических операциях при сопоставлении технологически необходимого и реального парка сельскохозяйственной техники.

**Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:**

**Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ:**

1. Мониторинг состояния и определение технологической потребности в тракторах для регионального АПК (на примере Республики Башкортостан) / О. Н. Дидманидзе, И. И. Габитов, С. Г. Мударисов, А. В. Лавров // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 5(335). – С. 14-19.
2. Кузнецова, Л. В. Анализ обеспеченности тракторами аграрного сектора экономики Калужской области / Л. В. Кузнецова, А. В. Лавров // Аграрная наука. – 2024. – № 7. – С. 187-192.
3. Состояние и перспективы развития парка сельскохозяйственных тракторов в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства / И. А. Старостин, А. В. Лавров, А. В. Ещин, С. А. Давыдова // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 4. – С. 387-394.
4. Сидорова, А. В. Концепция применения энергонасыщенных тракторов как модульных универсальных энерготехнологических средств / А. В. Сидорова, А. В. Лавров, М. В. Сидоров // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 5. – С. 413-422.
5. Тяговый расчет модульного энерготехнологического средства с учетом кинематического несоответствия привода ведущих осей / А. В. Лавров, В. А. Воронин, М. В. Сидоров, И. А. Пехальский // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 30-36.
6. Бейлис, В. М. Система технологий и машин в современных условиях ФГБНУ ФНАЦ ВИМ / В. М. Бейлис, М. Н. Московский, А. В. Лавров // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 12. – С. 70-72.
7. Оценка способов экспериментально-аналитического определения контурной площади пятна контакта пневмошины с опорным основанием / А. В. Липкань, А. Н. Панасюк, З. А. Годжаев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – Т. 88, № 1. – С. 40-50.
8. Мощность двигателя трактора, оснащенного технологическим модулем / М. В. Сидоров, А. В. Лавров, В. А. Воронин, А. В. Сидорова // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 33-40.
9. Лавров, А. В. Систематизация элементов автоматизации, применяемых в сельскохозяйственных тракторах / А. В. Лавров, В. А. Зубина // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 4. – С. 94-97.
10. Лавров, А. В. Методические подходы к оценке технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах для АПК / А. В. Лавров, В. А. Зубина // Агроинженерия. – 2021. – № 1(101). – С. 20-26.
11. Matching the Traction Qualities of Agricultural Mobile Power Vehicles with the

Permissible Maximum Pressure on the Soil / A. V. Lavrov, V. G. Shevtsov, A. V. Rusanov, V. A. Kazakova // *Agricultural Machinery and Technologies*. – 2020. – Vol. 14, No. 3. – P. 9-14.

12. Нормативы и прогнозирование потребности сельскохозяйственного производства в технике / З. А. Годжаев, В. М. Бейлис, В. Г. Шевцов, А. В. Лавров // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. – 2020. – Т. 67, № 4(41). – С. 151-158.
13. Оценка технического уровня сельскохозяйственного трактора ТК-3-180 при включении его в робототехнический комплекс / А. В. Лавров, В. А. Зубина, В. Г. Шевцов [и др.] // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2019. – № 3. – С. 85-90.
14. Сидоров, М. В. Модульно-технологическая схема для тракторов тягового класса 1,4 / М. В. Сидоров, А. В. Лавров, В. А. Воронин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. – 2019. – № 4(37). – С. 57-62.
15. Исследование давления колесного движителя на почву с учетом характеристики шины / З. А. Годжаев, А. Ю. Измайлов, В. Г. Шевцов [и др.] // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2016. – № 1. – С. 5-10.
16. Методика определения оптимального количественно-возрастного состава тракторного парка / В. Г. Шевцов, З. А. Годжаев, А. В. Лавров, В. А. Зубина // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2016. – № 4. – С. 9-14.
17. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов России / В. М. Кряжков, З. А. Годжаев, В. Г. Шевцов [и др.] // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2015. – № 3. – С. 9-14.
18. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов России / В. М. Кряжков, З. А. Годжаев, В. Г. Шевцов [и др.] // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2015. – № 4. – С. 5-11.
19. Шевцов, В. Г. Влияние тракторного парка на показатели технической оснащенности и ресурсные характеристики механизированного сельхозпроизводства / В. Г. Шевцов, А. В. Лавров // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2014. – № 12. – С. 38-40.
20. Анализ рынка сельскохозяйственных тракторов России в 2008-2013 гг / В. М. Кряжков, В. Г. Шевцов, Г. С. Гурылев, А. В. Лавров // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2014. – № 5. – С. 12-16.

**Публикации в изданиях, зарегистрированных в базе данных SCOPUS:**

21. Calculation of engine power for a tractor of traction class 1.4 with a technological module / M. Sidorov, A. Lavrov, V. Voronin, A. Sidorova // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 285. – P. 07015.
22. Lavrov, A. Justification of the requirements for an environmentally safety mobile power unit of class 1.4-2.0 / A. Lavrov // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 285. – P. 07016.
23. Initial requirements for agricultural universal block-modular energy device of traction class 0.6 / A. Lavrov, A. Gulyaev, S. Popov [et al.] // *E3S Web of Conferences, Sevastopol, 07–11 сентября 2020 года*. – Sevastopol, 2020. – P. 01034.
24. Justification of requirements for mobile energy tool of 0,6-0,9 traction class / A. V. Lavrov, V. G. Shevtsov, V. A. Zubina, A. V. Rusanov // *Machinery Technical Service*. – 2020. – No. 3(140). – P. 57-66.

25. Lavrov, A. Algorithm of adaptation results tractors tractive tests based on systems OECD and ISO / A. Lavrov, V. Shevtsov, M. Sidorov // E3S Web of Conferences, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 126. – Sevastopol: EDP Sciences, 2019. – P. 00035.
26. Evaluation of the Technical Level of Modern Agricultural Tractors Represented in the Russian Market / A. Izmailov, V. Shevtsov, A. Lavrov [et al.] // SAE Technical Papers. – 2018. – Vol. 2018-April. – P. 01724720.
27. Harmonizing Power Categories and Towing Categories of Agricultural Tractors with Series of Preferred Numbers / Y. Lobachevskii, Z. Godzhaev, V. Shevtsov [et al.] // SAE Technical Papers. – 2017. – Vol. 2017-January, No. January. – P. 18-24.

#### **Монографии, методические указания**

28. Бейлис В.М., Московский М.Н., Лавров А.В. Инновационная система машинно-технологического обеспечения фермерских хозяйств, селекционных и семеноводческих организаций: моногр. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 288 с.
29. Дидманидзе, О. Н. Методические рекомендации по определению нормативной потребности в сельскохозяйственной технике для растениеводства / О. Н. Дидманидзе, А. В. Лавров, В. М. Бейлис. – Москва : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – 56 с.

#### **Программы для ЭВМ, патенты**

30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684384 Российская Федерация. Программа расчета технологической потребности регионов России в сельскохозяйственной технике : № 2023680456 : заявл. 09.10.2023 : опубл. 15.11.2023 / З. А. Годжаев, И. И. Габитов, С. Г. Мударисов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».
31. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019618430 Российская Федерация. Согласование результатов тяговых испытаний отечественных и зарубежных тракторов по системам OECD и ISO при их гармонизации : № 2019617234 : заявл. 20.06.2019 : опубл. 01.07.2019 / А. В. Лавров, В. Г. Шевцов, Н. С. Крюковская, В. А. Зубина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).
32. Патент № 2787059 С1 Российская Федерация, МПК В62D 59/02, В62D 53/04, В62D 53/12. Модульное энерготехнологическое средство : № 2022105151 : заявл. 25.02.2022 : опубл. 28.12.2022 / А. В. Лавров, А. И. Пономарев, М. В. Сидоров [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственный центр "Калугатрактсельмаш".