

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева»**

На правах рукописи

БИСЕНОВ МУРАТ КЫЛЫШБАЕВИЧ

**Технологическое обеспечение модернизации
транспортно-технологических машин установкой электропривода**

**Специальность 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропро-
мышленного комплекса»**

**ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Г. Е. Митягин

МОСКВА 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Предпосылки модернизации транспортно-технологических машин установкой электропривода с обеспечением повторного использования тяговых аккумуляторных батарей.....	14
1.1. Концепция развития производства и использования электрического автомобильного транспорта и транспортно-технологических машин	14
1.2. Современное состояние и перспективы рынка электромобилей в Российской Федерации	16
1.3. Исследования проблем и перспектив создания электрифицированных наземных транспортных и транспортно-технологических машин в России	23
1.4. Обзор публикаций в области переоборудования транспортно-технологических машин и повторного использования тяговых аккумуляторных батарей	35
1.5. Целесообразность преобразования подержанных автомобилей в электромобили.....	40
1.6. Обзор перспектив и проблем электрификации транспортно-технологических машин для сельского хозяйства.....	50
1.7. Специфика использования литий-ионных аккумуляторных батарей и ее влияние на образование отходов и структуру системы обращения с выбывшими из использования аккумуляторами....	62
1.8. Объемы образования вторичных батарей.....	73
1.9. Модернизация транспортно-технологических машин как альтернатива ремонту или списанию.....	81
1.10. Выводы по первой главе. Цель и задачи работы.....	87
Глава 2. Теоретические основы технологического обеспечения модерни-	

зации транспортных и транспортно-технологических машин.....	93
2.1. Значение модернизации для сферы производства и эксплуатации транспортно-технологических машин.....	93
2.2. Задачи технологического обеспечения модернизации транспортных и транспортно-технологических машин.....	97
2.3. Предпроектные исследования технологического обеспечения модернизации транспортно-технологических машин	99
2.4. Обзор примеров коммерческих проектов модернизации автомобилей путем установки электропривода и тяговой аккумуляторной батареи	104
2.5. Методика определения параметров модернизируемой транспортно-технологической машины	120
2.6. Основы формирования производственно-технической базы специализированных сервисных предприятий	132
2.7. Выводы по главе 2.....	148
Глава 3. Экспериментальные исследования.....	149
3.1. Общая концепция экспериментальных исследований.....	149
3.2. Определение объектов агрегатоносителей для модернизации транспортно-технологических машин.....	152
3.3. Конструктивное исполнение высоковольтных аккумуляторных батарей и ячеек.....	159
3.4. Определение разборочных групп высоковольтной тяговой батареи.....	164
3.5. Экспериментальная установка.....	166
3.6. Организация хронометражных наблюдений.....	178
3.7. Результаты экспериментов.....	181
3.8. Определение базовой продолжительности технологических операций.....	190
3.9. Выводы по главе 3.....	201

Глава 4. Конструктивно-технологическое решение по модернизации транспортно-технологических машин.....	203
4.1. Результаты моделирования по критериям энергоэффективности параметров модернизируемых транспортно-технологических машин.....	203
4.2. Обеспечение повторного использования агрегатов и узлов при модернизации транспортно-технологических машин.....	216
4.3. Закономерности формирования производственно-технической базы специализированных сервисных предприятий.....	226
4.4. Экономический эффект функционирования специализированного сервисного предприятия при организации повторного использования аккумуляторных батарей выбывших из эксплуатации электромобилей.....	237
4.5. Выводы по главе 4.....	239
Заключение.....	243
Литература.....	246

Введение

Актуальность. Бензиновые и дизельные двигатели, устанавливаемые на большинство видов наземных транспортных и транспортно-технологических машин, используемых во всех сферах транспорта и агропромышленного комплекса – один из основных источников эмиссии парниковых газов, внимание к которым приковано во всех странах мира, учитывая современную экологическую повестку. Транспорт во всех странах мира ежегодно выбрасывает в атмосферу 7,87 млрд тонн CO₂ (примерно шестая часть глобальной парниковой эмиссии). Источником более половины этого объема служат наземные транспортные и транспортно-технологические машины. В США на них приходится до 59 % парниковых выбросов транспорта, в Европе – около 55 % [1]. Российская Федерация в мировом объеме выбросов CO₂ также входит в пятерку самых крупных по выбросам стран. По данным Института глобального климата и экологии, выбросы от транспорта в Российской Федерации в 2021 году составили 225,7 млн тонн CO₂-экв (10,5% от совокупного объема выбросов в России) [2].

Современный тренд на который взяли курс все крупнейшие страны мира – декарбонизация, предполагающая реализацию мер по сокращению выбросов парниковых газов. Поскольку основным источником выбросов парниковых газов на транспорте и в сельском хозяйстве принято считать двигатели внутреннего сгорания транспортных и транспортно-технологических машин, то повсеместно пристальное внимание уделяется переходу на так называемые «зеленые» технологии, предполагающие разработку и внедрение новых экологически безопасных источников энергии к которым принято относить электропривод, гибридный электропривод, водородные топливные элементы, аккумуляторные батареи [3].

Однако, выбросы парниковых газов – далеко не единственная проблема наземных транспортных и транспортно-технологических машин. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – один из основных загрязнителей атмосферного воздуха, особенно в случае высокой концентрации на локальных территориях, например, в

городах. Наземные транспортные и транспортно-технологические машины с ДВС ответственны за треть всего объема оксида азота, пятую часть оксида углерода, десятую часть мелкодисперсных частиц и двадцатую часть не метановых летучих органических соединений, выбрасываемых в атмосферный воздух, что является самыми высокими показателями среди всех видов транспорта [4].

Оценка реального объема и динамики выбросов загрязняющих веществ от наземных транспортных и транспортно-технологических машин в России на сегодняшний день затруднена, так как, государственная статистика ведет подсчет выбросов исходя из данных о выбросах только автомобильного и железнодорожного транспорта. При этом выбросы от речного и морского судоходства, а также от воздушного транспорта не учитываются. Кроме того, в 2019 году Росприроднадзор кардинально изменил методику расчета выбросов от автомобильного транспорта, в результате чего этот показатель снизился в три раза.

Если ежегодные выбросы от передвижных источников в России с 2000 по 2018 год были стабильны и колебались в пределах от 12,8 до 15,4 млн тонн загрязняющих веществ, то в 2019 году этот показатель составил 5,4 млн тонн. Новая методика учитывает экологический класс автотранспорта и виды дорог, по которым движутся автомобили. Новые данные, вероятно, более точные чем опубликованные ранее, но сравнивать их с показателями предыдущих лет некорректно. Вклад выбросов транспортных средств в общее загрязнение воздуха также трудно оценить в динамике. Например, если в 2018 году доля выбросов от транспорта составляла 47 %, то в 2019 году – 24 %, произошло существенное снижение показателя, которого удалось достичь только благодаря изменению методики расчета [5]. В последующие годы наблюдалось небольшое снижение объема выбросов загрязняющих веществ – по данным Росстата, в 2022 году этот показатель составил 5,03 млн тонн [6].

Развитие индустрии наземных транспортных и транспортно-технологических машин на накопителях энергии (батареях) и в части потребления, и в части производства позволит внести значительный вклад в декарбонизацию экономики, повы-

шение качества жизни населения, а также улучшить условия труда и качество продукции в агропромышленном комплексе. Модернизация наземных транспортных и транспортно-технологических машин путем перевода с ДВС на тяговый электропривод позволит быстро снизить локальное загрязнение воздуха от выхлопных газов, внести вклад в снижение антропогенного воздействия на атмосферу и климат, снизить уровень текущих эксплуатационных затрат на топливо и поддержание работоспособности наземных транспортных и транспортно-технологических машин.

Степень разработанности темы. Вопросами модернизации наземных транспортных и транспортно-технологических машин в нашей стране традиционно занимались несколько крупных научно-исследовательских и учебных организаций, например Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Московский политехнический институт (бывший МГТУ «МАМИ»), ФГУП «НАМИ», Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина (сейчас Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева), Ижевский государственный технический университет, Московский энергетический институт (МЭИ), Новосибирский государственный технический университет, Самарский государственный технический университет, Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ» и в разной степени все производители автомобильной техники. Применение электропривода в конструкции наземных транспортных и транспортно-технологических машин считалось прогрессивным решением и исследования в этом направлении велись с начала 80-х годов прошлого века несколько десятилетий такими учеными как академик РАН Дидманидзе О.Н., заслуженный деятель науки и техники РФ доктор технических наук Ютт В.Е., академик РАН Измайлов А.Ю., академик РАН Дорохов А.С., доктор технических наук Умняшкин В.А, доктор технических наук Петленко Б.И., доктор технических наук Иванов А.М., доктор технических наук Эйдинов А.А., доктор технических наук Иванов С.А., доктор технических наук Асадов Д.Г., профессор Селифонов В.В., профессор Слепцов М.А. и многие другие. Зарубежные исследования,

посвященные модернизации наземной техники в контексте улучшения ее экологических параметров ведутся с 70-х годов прошлого века, сначала в Западной Европе и США, а теперь и в крупнейших развивающихся странах, например, Китае и Индии. Общим результатом всех этих исследований стала разработка, а в настоящее время и массовое производство новых электромобилей и гибридных автомобилей, а также постепенное проникновение этих технологий в смежные отрасли, эксплуатирующие наземные транспортные и транспортно-технологические машины, например в сельское хозяйство.

Анализ литературных источников по теме исследования показал, что массовый переход крупнейших производителей на производство электромобилей и гибридных автомобилей породил сразу несколько новых проблем вероятности наличия которых в начале этого пути никто в серьез не прогнозировал. Первая из них – дефицит сырьевых ресурсов, а вторая – образование большого количества новых видов отходов, к которым в первую очередь относятся выбывшие из эксплуатации высоковольтные аккумуляторные батареи. Проблема их переработки оказалась настолько серьезной, что одним из наиболее приемлемых решений стало откладывание утилизации за счет поиска способов повторного использования. Невозможность повторного использования выбывших из эксплуатации аккумуляторных батарей в составе автотранспортных средств не означает невозможности повторного использования в других наземных транспортных и транспортно-технологических машинах, однако этот вопрос проработан крайне незначительно, так как более простой подход – использовать аккумуляторные батареи в системах накопления энергии доминирует, но только пока не завершен общемировой процесс их модернизации и только в странах где они массово востребованы. Как только он завершится, вопрос утилизации возрастающего потока выбывших из эксплуатации аккумуляторов снова станет острым. Отсутствие простых и готовых решений связанных с модернизацией наземных транспортных и транспортно-технологических машин путем установки электропривода обусловлено отсутствием рациональных технологических процессов обеспечения

повторного использования вторичных агрегатов и узлов электромобилей в составе других видов техники или технологического оборудования, необходимого в различных отраслях в том числе и в сельском хозяйстве.

Область исследований. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса»:

7. Методы и средства изыскания, исследования альтернативных видов энергии, технические средства для их применения.

8. Энергетические средства на электроприводе и возобновляемых источниках энергии.

20. Методы и технические средства обеспечения надежности, долговечности, диагностики, технического сервиса, технологии упрочнения, ремонта и восстановления машин и оборудования.

22. Организация технического сервиса, ремонта, хранения, рециклинга, утилизации машин и оборудования.

Цель работы. Повышение эксплуатационных свойств серийно производящихся и снятых с производства транспортных и транспортно-технологических машин за счет установки электропривода с использованием вторичных агрегатов и узлов электромобилей.

Объекты исследования: серийно выпускаемые и снятые с производства наземные транспортные и транспортно-технологические машины, выбывшие из эксплуатации электромобили, выведенные из эксплуатации тяговые аккумуляторные батареи электромобилей и гибридных автомобилей, специализированные сервисные предприятия по техническому обслуживанию и ремонту электромобилей, технологические процессы разборки и сборки тяговых аккумуляторных батарей, комплектующие высоковольтной тяговой аккумуляторной батареи.

Предмет исследования. Технологический процесс модернизации серийно выпускающихся и снятых с производства наземных транспортных и транспортно-

технологических машин путем установки электропривода с использованием вторичных основных агрегатов и узлов электромобилей, а также предложение альтернативной продукции из вторичных компонентов в условиях специализированного сервисного предприятия по техническому обслуживанию и ремонту электромобилей.

Информационную базу исследования составили: диссертационные работы, тематика которых была связана с проблемами электрификации транспортных и транспортно-технологических машин; российские и зарубежные научные статьи в отраслевых и рецензируемых научных изданиях; законодательные и нормативные акты Российской Федерации; официальные государственные и корпоративные данные из открытых источников, материалы всероссийских и международных конференций, размещенные в открытом доступе; информация, полученная на предприятиях-партнерах и данные, полученные в ходе выполнения экспериментальной работы.

Методология и методы исследования.

Методология исследования основана на всестороннем анализе изучаемой проблемы; использовании принятых в мировой практике подходов к модернизации транспортных и транспортно-технологических машин; использовании общепринятых методов статистического анализа; постановке и проведении лабораторных экспериментов для определения параметров технологических процессов модернизации транспортных и транспортно-технологических машин

Методы исследований: системный анализ, статистическая оценка показателей технологических процессов, хронометражные наблюдения за всеми этапами технологических процессов модернизации транспортных и транспортно-технологических машин. Теоретические положения, сформулированные в работе, основываются на математическом аппарате исследования операций, включая теорию массового обслуживания, теорию вероятностей и математическую статистику.

Научная новизна заключается в разработке методики, алгоритмов и математических моделей, определяющих организацию технологических процессов модернизации производящихся или снятых с производства транспортных и транспортно-

технологических машин, путем установки электропривода и высоковольтной аккумуляторной батареи с использованием вторичных агрегатов и узлов.

Положения, выносимые на защиту:

1. алгоритм, определяющий порядок организации технологического обеспечения работы с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами с учетом оснащенности специализированных сервисных предприятий и обеспеченности кадровыми ресурсами;
2. комплекс математических моделей и результаты определения оптимальных значений параметров модернизируемой транспортно-технологической машины для различных вариантов использования и природно-производственных условий;
3. комплекс математических моделей определения основных характеристик производственно-технической базы предприятий, осуществляющих работу с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами и тяговыми аккумуляторными батареями для получения на их основе новой продукции;
4. комплекс технических и учебных средств для выполнения технологических процессов, связанных с диагностикой, разборкой и сборкой тяговых аккумуляторных батарей, обучения персонала;
5. технологические схемы и нормы продолжительности работы с тяговыми аккумуляторными батареями с оценкой влияния их конструкции на возможность их повторного использования целиком или отдельными элементами в составе модернизируемых транспортно-технологических машин или новых устройств;
6. функциональную схему и оптимальные характеристики производственно-технической базы специализированных сервисных предприятий, осуществляющих работу с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами и тяговыми аккумуляторными батареями для получения на их основе новой продукции;

Теоретическая значимость работы заключается в дальнейшем развитии теоретических и практических аспектов модернизации транспортных и транспортно-технологических машин, эксплуатируемых в сельском хозяйстве и смежных отрас-

лях, улучшающей их эксплуатационную технологичность и экологическую безопасность с применением методов, минимизирующих воздействие на окружающую среду за счет повторного использования ресурсов и эффективной организацией технологических процессов модернизации в условиях специализированных сервисных предприятий.

Практическая ценность работы заключается в выработке подходов к технологическому обеспечению технологических процессов модернизации производящихся или снятых с производства транспортных и транспортно-технологических машин, путем установки электропривода и высоковольтной аккумуляторной батареи с использованием вторичных агрегатов и узлов электромобилей в условиях специализированного сервисного предприятия, позволяющих достичь высокого уровня повторного использования агрегатов и узлов по прямому или альтернативному назначению при рациональных материальных и трудовых затратах с учетом достижений научной организации труда и минимизации негативного воздействия на окружающую среду за счет модернизации эксплуатируемой техники и уменьшения уровня образования отходов повторного применения элементов тяговой аккумуляторной батареи.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на всероссийских и международных научно-практических конференциях: «Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робото-технических комплексов» (Москва, РГАУ-МСХА, 19 – 20 декабря 2023 года), «Чтения академика Болтинского, посвященные 300-летию РАН» (Москва, РГАУ-МСХА, 17 – 18 января 2024 года), «77-я Всероссийская студенческая научно-практическая конференция, посвященная 150-летию со дня рождения А.Г. Дояренко» (Москва, РГАУ-МСХА, 12 – 14 марта 2024 года), «Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича» (Москва, РГАУ-МСХА, 3 – 5 июня 2024 года), «Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 90-

летию со дня рождения Н.М. Шарова» (Москва, РГАУ-МСХА, 23 – 24 октября 2024 года), Международная научно-практическая конференция «Научный форум: Экономика, управление и цифровые технологии в АПК – 2024» (Москва, РГАУ-МСХА, 20 ноября 2024 года).

Публикации. Основные теоретические положения и результаты исследования опубликованы в 18 научных и учебно-методических работах, в том числе 7 в изданиях, рекомендованных в перечне ВАК, 2 учебных пособия.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 285 страницах, состоит из введения, основной части, включающей четыре главы, содержащих 12 таблиц и 107 рисунков, заключения, списка литературы, включающем 295 наименований, в том числе 85 на иностранном языке.

Глава 1. Предпосылки модернизации транспортно-технологических машин установкой электропривода с обеспечением повторного использования тяговых аккумуляторных батарей

1.1 Концепция развития производства и использования электрического автомобильного транспорта и транспортно-технологических машин

Развитие индустрии электромобилей на накопителях энергии (батареях) и в части потребления, и в части производства позволит внести значительный вклад в декарбонизацию экономики и повышение качества жизни в крупных городах. Перевод транспортно-технологических машин и автомобильного транспорта с ДВС на электродвигатели позволит быстро снизить локальное загрязнение воздуха от выхлопных газов и внести вклад в снижение антропогенного воздействия на атмосферу и климат, позволить предприятиям, эксплуатирующим различные виды подвижного состава сократить эксплуатационные расходы, связанные с потребностью в традиционных топливах и работах, связанных с обеспечением работоспособности машин.

Несмотря на усилия и инициативы как федерального, так и регионального масштаба, в России наблюдалось и пока наблюдается значительное отставание от мировых лидеров, как в объеме рынка электромобилей, так и в зарядной инфраструктуре.

До 2021 года в России электротранспортный сектор развивался в условиях отсутствия комплексных отраслевых документов стратегического планирования. Увеличение количества электромобилей шло за счет фанатов-энтузиастов, жителей крупных городов (Москва, Санкт-Петербург) с высокой покупательской способностью, жителей некоторых городов с низкими тарифами на электричество (например Иркутск) и ввоза подержанных электромобилей из Японии на Дальний Восток. В остальных регионах существенного роста количества электромобилей не наблюдалось. Аналогично выглядела ситуация с электрочарядными станциями (ЭЗС). Инициативы по установке зарядных станций исходили от правительств крупных мегаполи-

сов, таких как Москва и Санкт-Петербург, крупных компаний – Россетей и РусГидро, а также от инвесторов-энтузиастов.

Идея модернизации транспортно-технологических машин установкой электропривода также шла от конструкторов-энтузиастов и, учитывая ограниченные бюджеты, выделяемые на эти изыскания, вопрос вторичного использования компонентов электромобилей по разным причинам выбывших из эксплуатации сразу вышел на первый план. Практические примеры, которые были частным образом реализованы на практике показали жизнеспособность этой идеи даже несмотря на разнообразие подходов к конструкции самих модернизируемых транспортных средств.

Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 год [7], утвержденная правительством России в 2021 году, придала импульс развитию отрасли как в плане производства российских электромобилей, так и в области развития зарядной инфраструктуры с высокой долей локализации.

Благодаря субсидиям количество быстрых зарядных станций с конца 2021 года, когда пошло первое финансирование, увеличилось более чем вдвое. Во многих регионах появились и действуют до настоящего времени налоговые льготы для владельцев электромобилей с перспективой продления как минимум до 2025 года. Появилась возможность получить субсидию на покупку электромобиля российского производства, а сам список моделей российского производства достиг 8 наименований к концу 2024 года.

Однако, несмотря на это, принятых мер всё еще недостаточно, чтобы сделать владение электромобилем привлекательным не только для массового потребителя, но и для предприятий, осуществляющих транспортные и технологические операции. Недостаточное обеспечение зарядными станциями федеральных трасс делает длительные поездки на электромобиле затруднительными, а для регионов и тем более для сельской местности использование электрифицированной техники в настоящий момент представляется невозможным. В связи с чем электрические автомобили в России в основном экс-

плуатируются для передвижения по городу, а электрифицированные транспортно-технологические машины (как правило, складские) только в условиях закрытых территорий.

Стоит также отметить, что одной из ключевых целей внедрения электромобилей является снижение локального загрязнения воздуха от выхлопных газов и антропогенного воздействия на атмосферу и климат.

В 2022 году после ухода иностранных производителей и потери доступа к иностранным технологиям вследствие международных санкций российский автопром попал в стрессовую ситуацию. Последовал резкий спад производства и продаж новых легковых и легких коммерческих автомобилей. Однако, к концу 2023 года ситуация выровнялась. Рынок электромобилей в силу своего небольшого объема оказался более устойчивым и даже показал значительный рост. Ключевыми причинами этого является эффект низкой базы и стремительное заполнение китайскими дилерами освободившихся ниш.

Ряд экспертов рассматривает сложившуюся ситуацию как окно возможностей для российских производителей. Однако, учитывая низкий уровень технологического развития российского автопрома в целом, нынешнюю зависимость производства электромобилей от китайских технологий и комплекствующих и снижающуюся покупательную способность населения, реализовать успешный производственный рывок в ближайшее время вряд ли удастся. Кроме этого, финансирование проектов экологической направленности, а развитие электротранспорта можно отнести к таким проектам, осуществляется в России по остаточному принципу.

1.2 Современное состояние и перспективы рынка электромобилей в Российской Федерации

На актуальность исследований послеэксплуатационных технологических процессов обращения с электромобилями и гибридными автомобилями

было указано в статье «Разработка технологического процесса разборки высоковольтной тяговой батареи электромобилей» В этой публикации по открытым источникам была проанализирована статистика продаж электромобилей и гибридных автомобилей в 2023 году в сравнении со всеми предшествующими периодами (рис. 1.1) [8, 9, 10]. В 2023 году новые электромобили достигли уровня продаж свыше 14 тысяч экземпляров и доли продаж в 1,3 %, что является весьма существенным достижением по сравнению с предшествующими результатами. В сравнении с рынком новых электромобилей рынок подержанных электромобилей (рисунок 1.1) вырос не так существенно [11], однако тоже стал рекордным, а общая динамика может давать основания для предположений о дальнейшем росте. Если будет достигнута знаковая величина – пять процентов объема продаж – популярность электромобилей будет нарастать более высокими темпами. Основанием для этого прогноза является программа выхода на рынок в 2024-2025 годах в дополнение к уже производящимся «Москвичу» и «Эволюту» сразу нескольких российских производителей электромобилей, к которым можно отнести такие проекты как «Е-Ларгус», «Амберавто», «Атом», «Е-Нева» и другие [12, 13, 14, 15]. Помимо общего стремительного роста количества электромобилей изменилась структура транспортных средств, имеющих на борту высоковольтную батарею – электромобили существенно потеснили гибридные автомобили, достигнув доли более 40 процентов (рисунок 1.2) [9].

Проводя анализ марочного состава новых электромобилей необходимо констатировать, что замещения импортируемой техники пока признать невозможно и весь рост, несмотря на значительное расширение производства электромобилей в России, даже не принимая во внимание их происхождение, был достигнут за счет импорта, в первую очередь из Китая (рисунок 1.3а) [9, 16], а по подержанным электромобилям из Японии (рисунок 1.4). Если в 2013 году на рынке в России было доступно около шести моделей электромобилей, то в 2023 году их количество превысило несколько десятков, однако, из всего разнообразия моделей электромобилей только восемь достигли количества в 500 реализо-

ванных покупателям экземпляров (рисунок 1.3б) [17], среди подержанных электромобилей эта тенденция также заметна, если в 2020 Nissan Leaf безоговорочно доминировал с долей в 93 %, то в 2023 ему досталось немногим более 60 процентов.



Рисунок 1.1 – Динамика продаж электромобилей, шт.

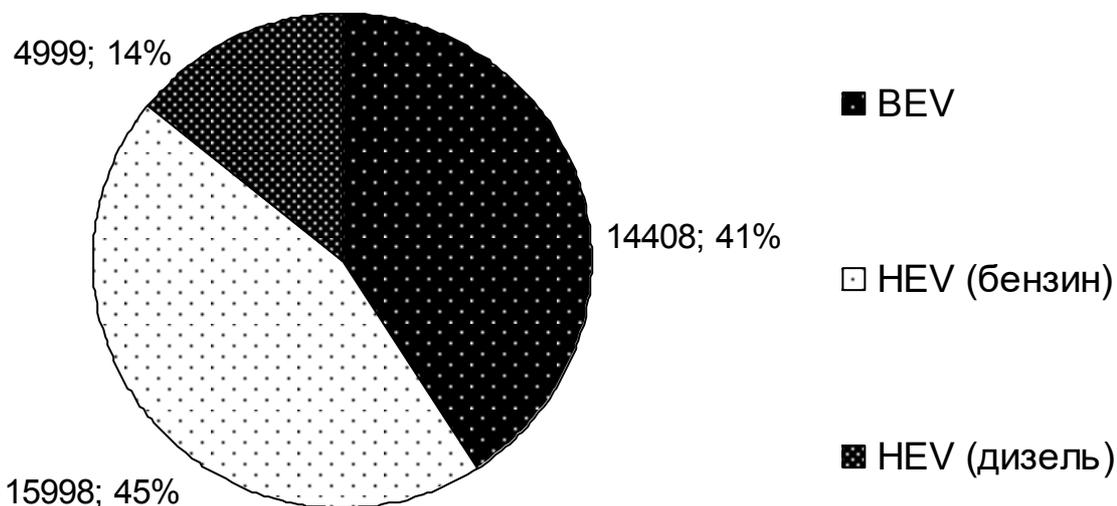


Рисунок 1.2 – Структура реализованных в 2023 году новых гибридных автомобилей (HEV) и электромобилей (BEV)

Учитывая высокие темпы роста объемов продаж новых и подержанных электромобилей, можно наблюдать интенсивный рост численности парка ав-

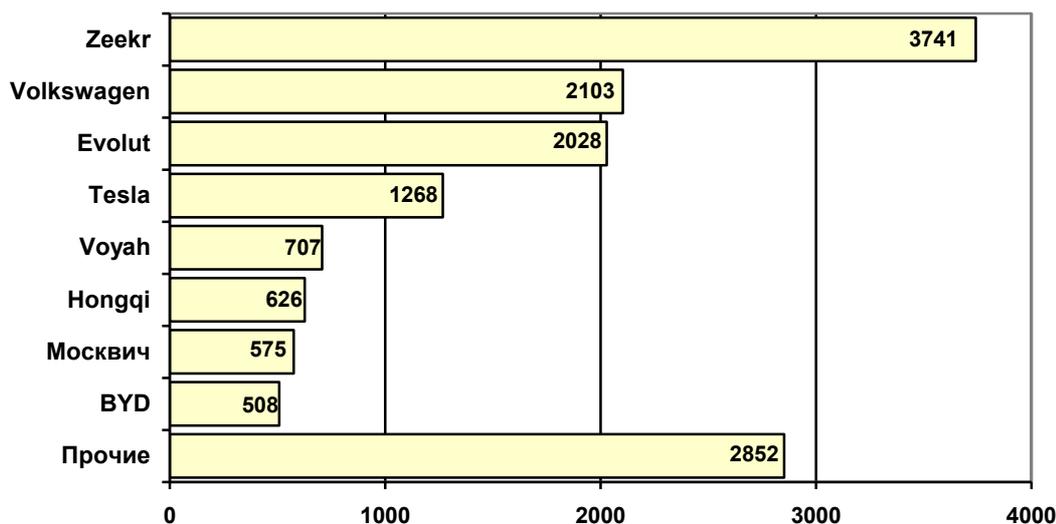
томобилей в Российской Федерации (рисунок 1.5) [18, 19], причем в 2023 году кратный.

Анализируя данные модельной структуры продаж электромобилей в 2023 году, как новых, так и подержанных, можно сделать вывод, что имеет место тенденция вытеснения электромобилей так называемой «первой волны», которые подготавливались к серийному производству путем реинжиниринга серийных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, электромобилями, разработанными на современных электромобильных технологических модульных платформах, не предполагающих версий с ДВС, либо допускающие гибридные версии с ДВС без связи с трансмиссией.

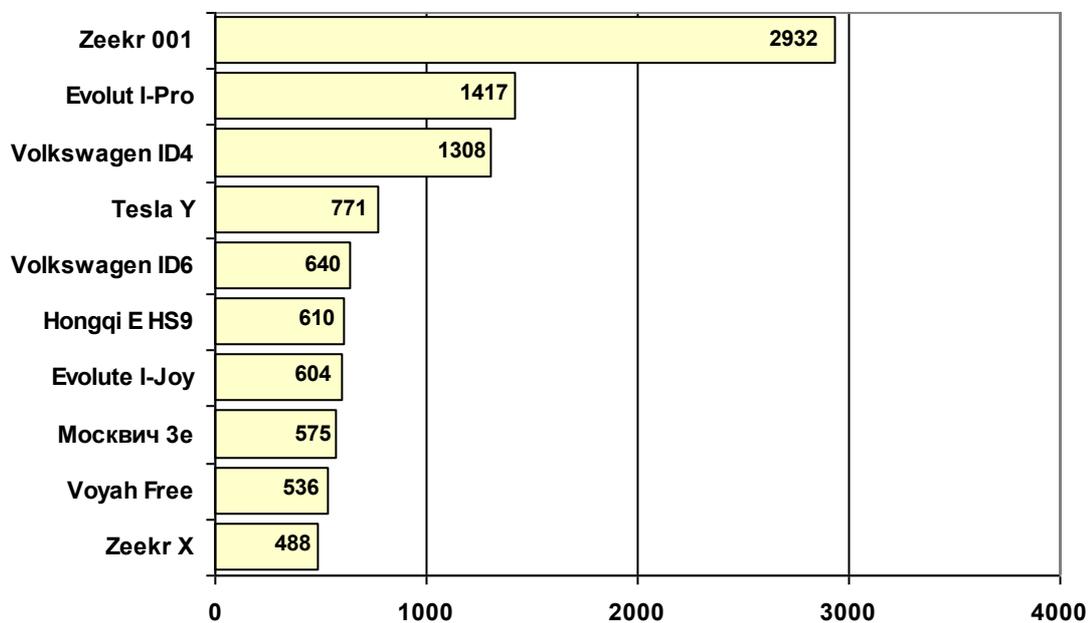
Анализируя промежуточные итоги 2024 года видно сохранение интереса к современной экологичной и экономичной технике и даже не очень значительное отклонение от показателей, заложенных в концепции развития производства и использования электрического автомобильного транспорта, правда реализуются эти показатели не силами российских производителей, а почти неограниченными возможностями зарубежных, в первую очередь китайских. В целях сокращения зависимости от импорта, а также развития собственного производства возникают вполне естественные идеи отечественных производителей выпускать собственную технику – электромобили и гибридные автомобили – для отечественного рынка, однако возможности быстро реагировать на рыночную конъюнктуру весьма ограничены.

Перспективы электрификации в первую очередь легковых автомобилей в России считаются важными, именно поэтому на создание отечественной единой модульной платформы для электромобилей будет выделено 90 млрд. рублей на ближайшие три года в распоряжение ФГУП «НАМИ», выбранного в качестве основного разработчика единой национальной автомобильной платформы. У НАМИ уже был опыт создания единой модульной платформы, разрабатывать её начали в 2012 году, с участием иностранных специалистов из Porsche Engineering, компетенции которых требовались для разработки двигателя, но также такими силами до дебюта автомобиля «August» смогли довести только в

2018 году, то есть спустя шесть лет. Средства на разработку единой модульной платформы предлагается направить в рамках национального проекта «Промышленное обеспечение транспортной мобильности» и государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Планируется что на создание платформы в 2025 году выделят 25,6 млрд рублей, в 2026 году также – 25,6 млрд рублей, а на 2027 год – 36,6 млрд рублей.

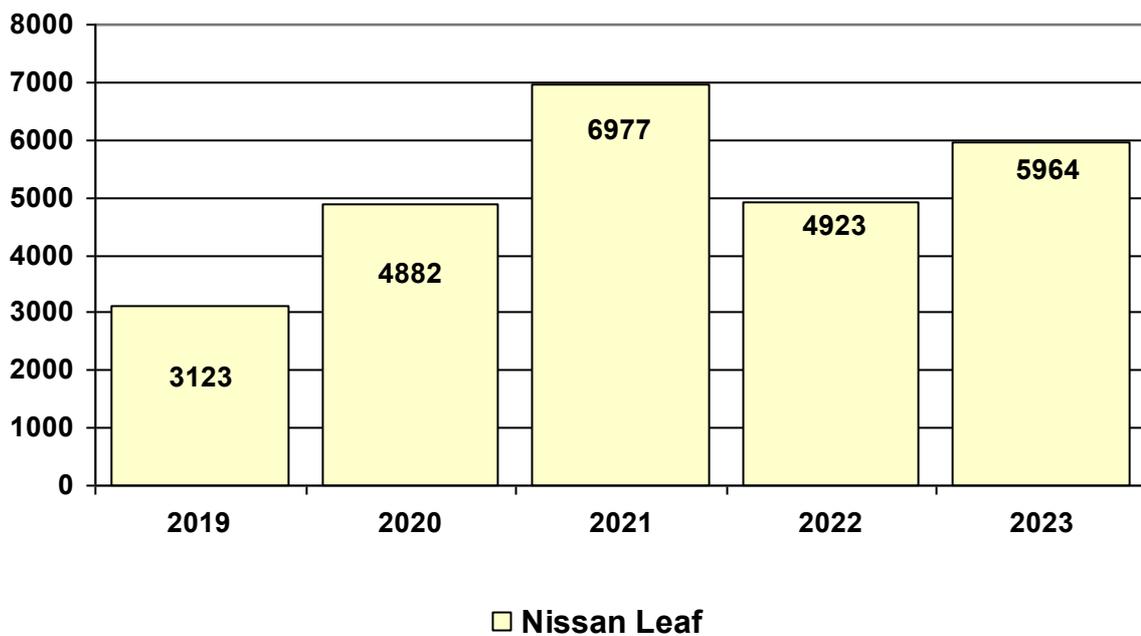


а

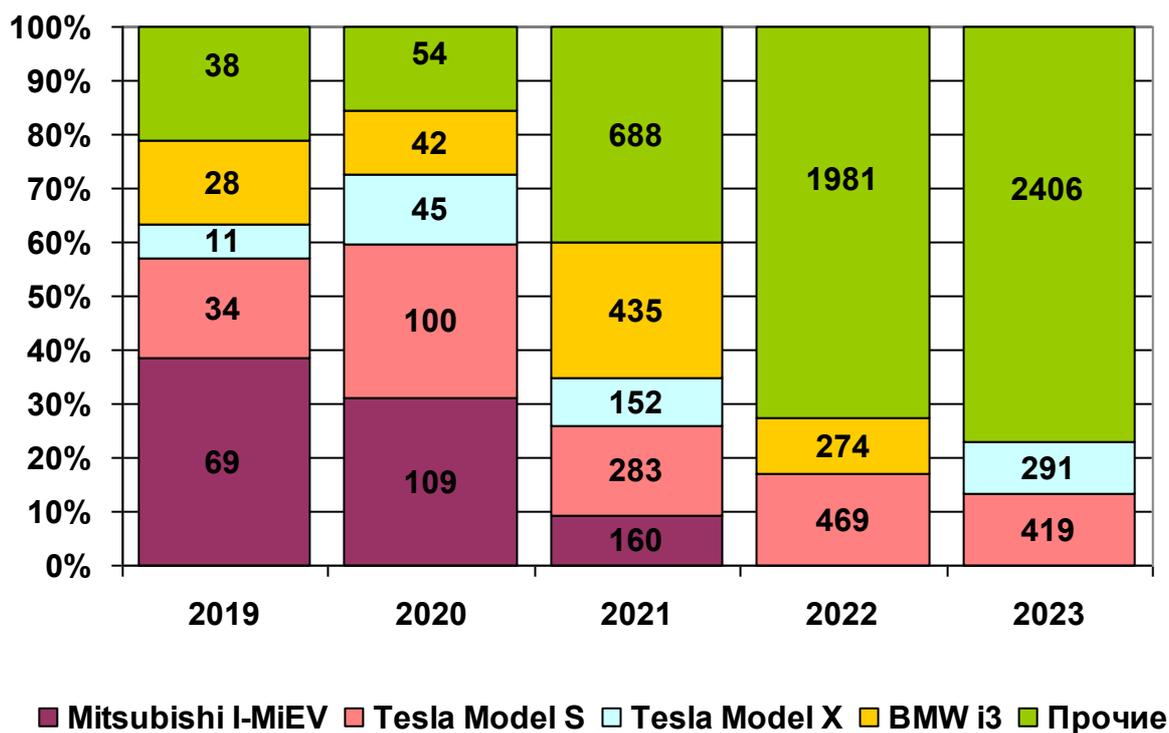


б

Рисунок 1.3 – Структура продаж новых электромобилей: а – по маркам в 2023 году, шт.; б – наиболее популярные модели новых электромобилей в 2023 году, шт



а



б

Рисунок 1.4 – Структура продаж подержанных электромобилей по моделям, шт.: а – электромобиль Nissan Leaf; б – прочие электромобили

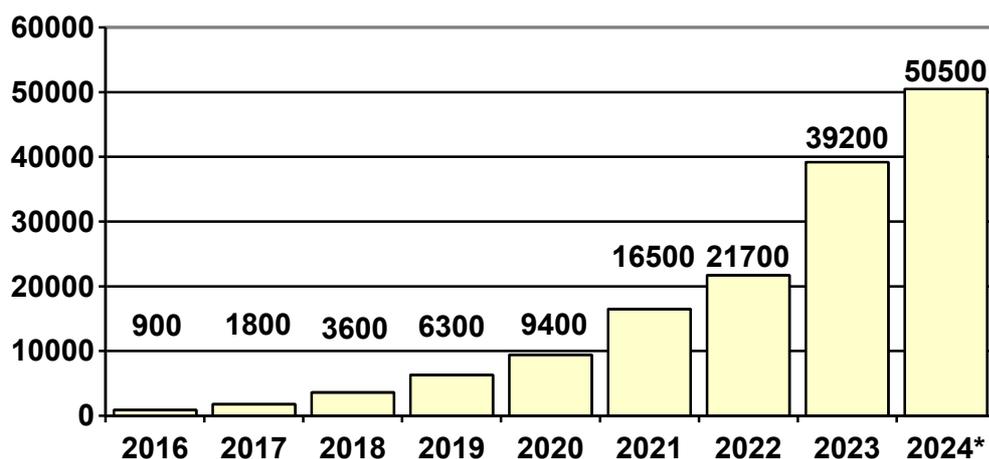


Рисунок 1.5 – Парк электромобилей в России на конец года, шт [18, 19]

В рамках разработки единой модульной платформы необходимо будет подготовить собственную платформу для автомобилей гольф-класса, среднего и бизнес-классов, при этом приоритет отдается платформе для последовательного гибрида и для электромобилей, учитывая, что компоновочные решения и компонентная база для них могут быть схожими. Однако, учитывая опыт прошлых лет, завершить работу за три года может оказаться невозможным, а привлечение к этому проекту, таких крупных производителей как ВАЗ и ГАЗ не дает прорывных решений, в силу их разногласий в подходах к проекту и даже к роли в нем, что может помешать реализации. В настоящее время только два производителя готовят собственные платформы, это московский автомобильный завод «Москвич», выпускающий в настоящее время из машино-комплектов электромобиль Москвич-3е и стартап «Атом», предполагающий интернациональное участие, разумеется, с Китаем и несколько производственных площадок.

Помимо самостоятельной разработки стали возникать локальные отечественные объединения, ставящие цель разработку совместными усилиями собственных проектов, конкурентных хотя бы по цене с зарубежными производителями. Например, калининградский завод «Автотор» и «Московский политехнический институт» запланировали массовое производство электромобиля, который должен поступить в продажу под маркой «Амберавто» уже в 2025 го-

ду. Отличительной особенностью этого проекта является заявлена цена, которая должна составить примерно 1 млн рублей, что, учитывая современный уровень цен, для автомобиля А-класса, представляется не совсем приемлемым. Следует отметить, что в стоимость этого электромобиля не будет входить тяговая батарея, которую придется брать в лизинг. Сама идея лизинга батарей считается перспективной, пока стоимость батарей остается высокой. Однако, по мнению специалистов стартапа «Resurgent», стоимость замены аккумуляторов для электромобилей может существенно упасть к 2030 году. Такое мнение основано на прогнозе, что стоимость аккумуляторных ячеек может снизиться до 35 американских долларов за 1 кВт·ч, что позволит снизить стоимость замены аккумулятора в сборе и приблизиться к стоимости замены двигателя внутреннего сгорания.

В настоящее время замена аккумулятора электромобиля емкостью 100 кВт·ч в сборе обходится от 5000 до 16000 американских долларов, но в ближайшей перспективе цена может снизиться до 4500...5000 американских долларов за 100 кВт·ч, а это уже сопоставимо с заменой двигателя внутреннего сгорания в случае его выхода из строя при весьма вероятной невозможности ремонта, диапазон затрат на замену ДВС варьируется в диапазоне от 4000 до 10000 американских долларов.

1.3. Исследования проблем и перспектив создания электрифицированных наземных транспортных и транспортно-технологических машин в России

Вопросами модернизации наземных транспортных и транспортно-технологических машин в России занимаются более сорока лет. Для исследования ключевых научных исследований по этой тематике в России, а до этого в СССР было выполнен запрос в российской научной электронной библиотеке «Elibrary.ru» с ключевым словом «электромобиль» в разделе «диссертации» для поиска всех опубликованных работ, затрагивающих нашу тему. Из 244 диссертаций, где имелось упоминание электромобиля лишь 77 представ-

ляют определенный интерес и позволяют составить мнение о проблемах, которые рассматривались учеными и были решены, а также прийти к выводу о не достаточной изученности вопроса, рассматриваемого в нашей работе. Самые ранние работы, связанные с исследованием электромобилей и их компонентов датированы 1983 годом, самые поздние 2023-м годом. Анализируя отобранные исследования [29-97] можно выявить два всплеска интереса к этой проблематике, один пришелся на 2006-2016 годы и второй начался в 2022 году (рисунок 1.6) с принятием программы комплексного развития электротранспорта в 2021 году. Помимо этого, можно выделить несколько научных групп, которые базировались в нескольких научно-исследовательских и учебных организациях (рисунок 1.7). Основным объемом работ по рассматриваемой тематике был выполнен в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) – период активной работы с 1991 по настоящее время; Московском политехническом институте (бывшем МГТУ «МАМИ») – период активной работы с 1995 по 2015 годы; ФГУП «НАМИ» – период активной работы с 2005 по настоящее время; Московском государственном агроинженерном университете имени В. П. Горячкина (с 2014 года Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева) – период активной работы с 2003 по 2013 годы; Ижевском государственном техническом университете – период активной работы с 2006 по 2013 годы, Московском энергетическом институте (МЭИ) – период активной работы с 2006 по 2019 годы; Новосибирском государственном техническом университете – период активной работы с 2008 по 2022 годы; Самарском государственном техническом университете – период активной работы с 2005 по 2022 годы, а также еще в десяти университетах.

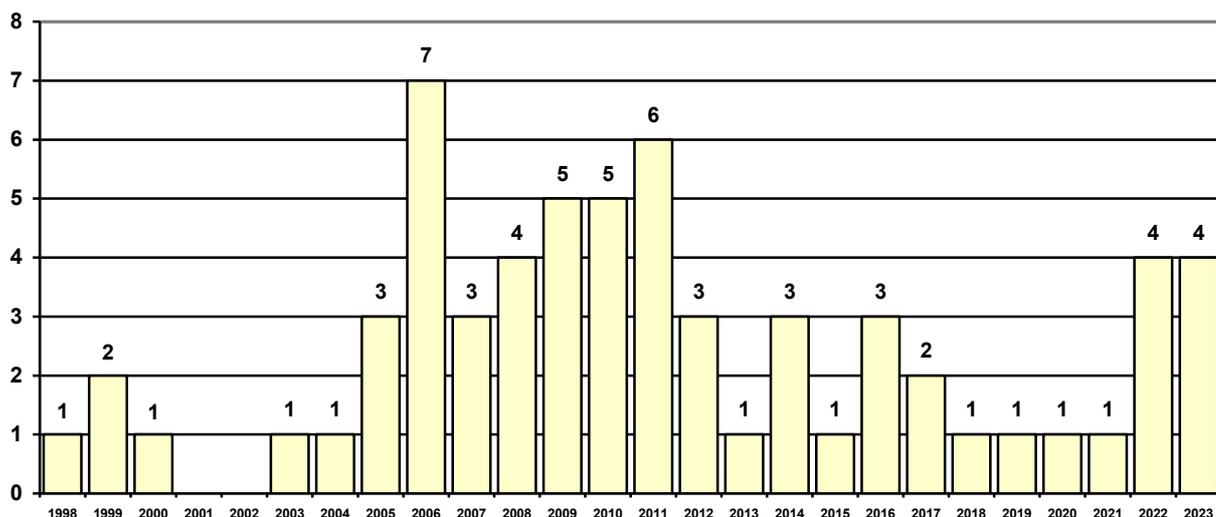


Рисунок 1.6 – Распределение количества исследований, связанных обоснованием параметров и режимов работы электромобилей по годам

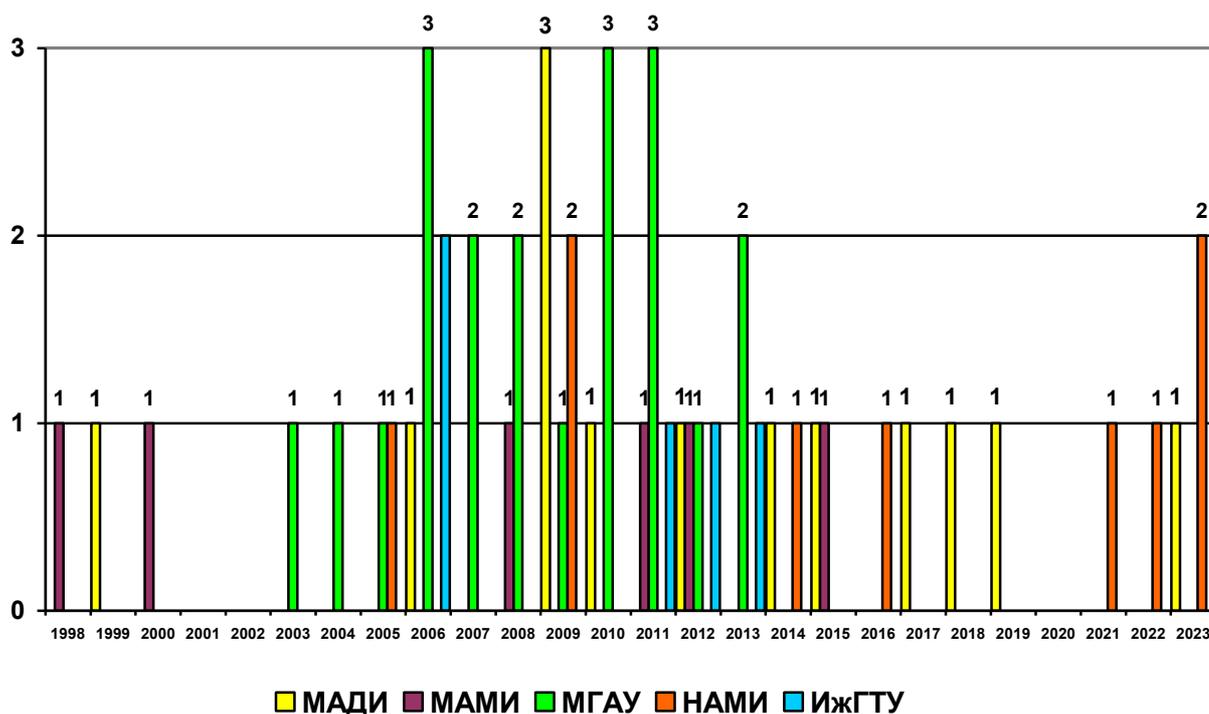


Рисунок 1.7 – Распределение количества исследований, связанных обоснованием параметров и режимов работы электромобилей по ключевым научным коллективам

Большинство выполненных исследований соответствуют всего двенадцати специальностям, среди которых наиболее часто работы выполнены по пяти: 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» (МАМИ, НАМИ, ИжГТУ), 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» (МАДИ, МАМИ,

МЭИ, Новосибирский ГТУ), 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» (МГАУ), 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» (МГАУ), 2.5.11 «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы» (НАМИ, МАДИ) (рисунок 1.8).

Анализируя тематику работ, связанных с электромобилями и автомобилями с комбинированными установками, следует отметить, что вне зависимости от специальности по которой они выполнялись были посвящены обоснованию конструктивных параметров накопителей, электродвигателей, трансмиссий, систем управления как всем транспортным средством, так и отдельными его компонентами (91 % работ). Проблемам надежности и обеспечению технической эксплуатации электромобилей, мобильных электроагрегатов и гибридных автомобилей всего 9 %.

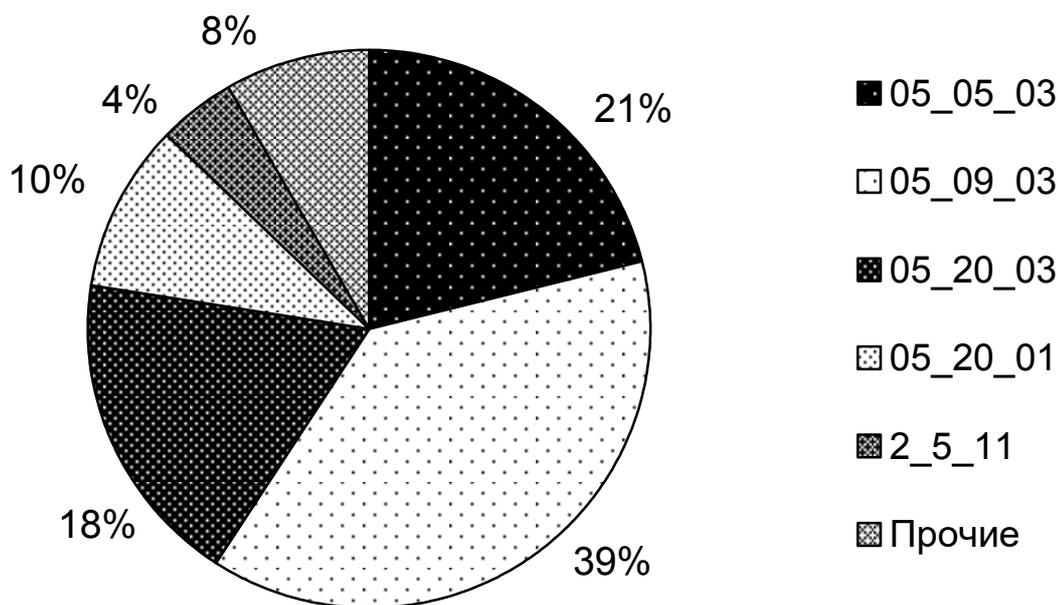


Рисунок 1.8 – Структура научных работ, защищенных с 1998 по 2023 году по специальности

Анализ исследований позволил выявить основных руководителей этим направлением. В Московском государственном агроинженерном университете имени В. П. Горячкина рабочая в рабочую группу входили академик РАН Дидманидзе О.Н., доктор технических наук Асадов Д.Г.; в Московском ав-

томобильно-дорожном государственном техническом университете – заслуженный деятель науки и техники РФ доктор технических наук Ютт В.Е., Карпухин К.Е., Сидоров Б.Н.; в МГТУ «МАМИ» профессор Селифонов В.В., доктор технических наук Петленко Б.И., Гурьянов Д.И.; в ФГУП «НАМИ» – доктор технических наук Эйдинов А.А., доктор технических наук Бахмутов С.В., Келлер А.В.; в Ижевском ГТУ – доктор технических наук Умняшкин В.А., доктор технических наук Филькин Н.М.; в МЭИ – профессор Слепцов М.А. Также можно выделить перспективные рабочие группы в ФНАЦ «ВИМ» под руководством академика РАН Измайлова А.Ю. и академика РАН Дорохова А.С., а также в компании Drive Electro (до 2014 года НИИКЭУ) под руководством доктора технических наук Иванова С.А.

В работах 80-90-х годов прошлого века рассматривался синтез параметров управления полупроводниковыми преобразователями на основе анализа энергетических показателей систем привода постоянного тока электромобилей (Скиданов В.М.) [20], оптимизация электропривода электромобиля с широтно-импульсным управлением (Тарасян А.П.) [21], конструкция торцевого асинхронного двигателя для мотор-колес легкового электромобиля (Петренко Ю.В.) [22] оптимизация энергетических показателей системы аккумуляторная батарея – тиристорный преобразователь - двигатель с микропроцессорным управлением (Погосян А. А.) [23], конструкция индивидуальных транспортных средств с комбинированной энергоустановкой, электроприводом и емкостным накопителем энергии (Шугуров С.Ю., Аль-Масуд Т.) [24, 27], полупроводниковые преобразователи в системах энергопитания постоянного тока электромобилей (Павлов В.Б.) [25], конструкция электромобиля с комбинированной энергетической установкой, включающей солнечную батарею (Макаров А.К.) [26], оптимизация работы электропривода транспортных средств при питании от свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (Ал М.М.) [28] и даже конструкция городского солнцемобиля для стран Азии (Нгуен Куанг Тхиеу) [29] Все рассматриваемые работы этого пе-

риода проходили преимущественно по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»

Новое тысячелетие открывает работа Иванова С.А. 2003 года, посвященная исследованию использования суперконденсаторов в комбинированных энергоустановках [30]. В рамках этой работы был создан инновационное гибридное транспортное средство на базе автомобиля ВАЗ-21213 в котором был удален штатный двигатель вместо которого был смонтирован силовой агрегат, состоящий из двигателя ВАЗ-1111 от автомобиля «Ока», состыкованный с вариатором, приводившим в движение передний мост, задний мост автомобиля приводился в движение только электродвигателем ПТ-125-12. Идея еще одного варианта применения суперконденсаторов была продолжена в работе Смирнова Г. Н. где было обосновано использование таких же суперконденсаторов в составе перспективной 42 В системы электростартерного пуска двигателя внутреннего сгорания [31]. Интерес к комбинированным энергоустановкам был подхвачен в работе Пионтковской С.А., предлагающей повысить энергоэффективность тяговой системы внутризаводского электротранспорта с комбинированной энергоустановкой [32]. Лежнев Л. Ю. предлагает улучшение топливно-экономических и экологических показателей двигателей внутреннего сгорания автотранспортных средств в составе комбинированных энергетических установок [33]. С началом исследований применения комбинированных энергоустановок была предложена система контроля и управления источником энергии тягового привода электроавтомобиля (Хечинашвили А.) [34], а следом и вариант оптимизации системы управления тягово-транспортного средства с комбинированной энергоустановкой (Ивакина Е.Г.) [35]. Дальнейшая работа с опытным экземпляром гибридного автомобиля ВАЗ-21213-КЭУ (двигатель ВАЗ-1111 с вариатором и электродвигатель ПТ-125-12), созданным Ивановым С.А. позволили улучшить некоторые технико-эксплуатационных свойства автомобиля с помощью комбинированной энергоустановки (Ноздрин А.В.) [36].

Расцвет электромобильной и гибридной тематики начался в 2006 году и продлился до 2013 года – проводились следования как отдельных компонентов, так и систем, оценивались различные варианты исполнения комбинированных энергоустановок и транспортных средств, несущих их на борту. Методика с помощью которой предлагалось рассчитывать базовые параметры параллельной гибридной энергосиловой установки для легкового автомобиля предложена Лазаревой А. Н. на основе гибридного автомобиля, построенного на базе ИЖ-2126 с двигателем ВАЗ-1111 и электродвигателем ПТ-125-12 [38], а новые подходы к дизайн-проектам легковых автомобилей особо малого класса (в том числе и квадрициклам) с комбинированной энергосиловой установкой с выбором параметров были предложены Ившиным К.С. [39]. Комбинированная энергоустановка городского автобуса с буферным источником мощности предложена Строгановым В.И. [37].

Гибридную силовую установку параллельного типа продолжил исследовать Ноздрин Р.В. [41], а Хамидуллин Р.П. за счет устранения жесткой кинематической связи между тепловым и электрическим двигателями предложил вариант совершенствования гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы [42].

Исследование влияния управляемого электромеханического звена автомобиля с комбинированной энергоустановкой на технико-экономические показатели выполнено Лобановым М.В. [40], а методы и средства повышения эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств предложены Аносовым В.Н. [43].

Параллельно выполняется работа по разработке и совершенствованию отдельных компонентов, например, Захаренко А. Б. создал высокомоментную электрическую машину с постоянными магнитами [44], Тадивосе Тасеу Зевде разработал тяговый электропривод пассажирского транспортного средства [46], а Полевой, И.Г. оценил влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на работу рекуперативной системы торможения тягово-транспортного средства [45].

Кроме предложения конструктивных решений ведется исследование влияния альтернативных источников энергии автомобиля на технико-экономические показатели (Серафимов А.М.) [48], выбираются параметры комбинированной энергетической установки автомобиля с применением математического моделирования (Голубчик Т. В.) [49], предлагаются более прогрессивные принципы и алгоритмы управления автомобилем с гибридной силовой установкой на примере гибридного автомобиля УАЗ-3151 (Карпухин К.Е.) [47], моделируются нестационарные режимы работы аккумуляторной батареи электромобиля (Иоанесян А.В.) [52].

Отдельное внимание посвящено городскому транспорту, например, Минкина И.М. в своей работе обосновывает применение комбинированных энергетических установок на базе ДВС для повышения экономичности и экологических характеристик внутригородского автотранспорта, в качестве объектов исследования рассматривает автобуса ГАЗ-3221 «Газель» и гибридный автомобиль иностранного производства Тойоту Приус [50]. Схожая идея также реализуется в работе Сидорова К.М. оценивающего энергетическую и топливную эффективность автомобиля ГАЗ-3221 с гибридной силовой установкой [55], а у Шугурова С.С. рассматривается синергетическая установка городского микроавтобуса ПАЗ-3030 с буферным источником мощности [53], Ютт М.В. в своей работе обосновывает повышение показателей топливной экономичности и снижение негативного экологического воздействия, оснащая микроавтобус ГАЗ-3221 «Газель» комбинированной энергоустановкой с буферным источником мощности [65].

В работе Фетисова А.В. исследован процесс рекуперативного торможения гибридных тягово-транспортных средств [59], у Отарского А.А. [56] предлагается очередной подход к улучшению топливно-экономических и токсических характеристик автомобилей за счет рекуперации энергии, а в работе Знаменского О.И. предложено обоснование параметров накопителя энергии тягово-транспортного средства с комбинированной энергоустановкой с маховиком [54], Спиридонов Е. А. также предлагает повышение эф-

фективности использования энергии в электротранспортных комплексах с накопительными устройствами [57].

К 2011 году стали предлагаться технологии, позволяющие продлевать ресурс аккумуляторных батарей, например, Тюхтин К.И. разработал электро-технология и преобразователь электроэнергии для регенеративного заряда аккумуляторов мобильной сельскохозяйственной техники [60], а Строганов А.В. предлагает повысить эксплуатационные свойства гибридных тягово-транспортных средств с суперконденсаторами и аккумуляторными батареями [61].

Проблемы механической части гибридных автомобилей решаются в работе Нгуен Х.Т., выбирающего способы понижения величины динамической нагрузки в механической трансмиссии автомобиля с гибридной силовой установкой [62], а также в работе Копотева Д.А., предложившего усовершенствованный вариант системы управления комбинированной энергосиловой установки в которой теплового и электрического двигателей имеют параллельное соединение [63], оптимизацию режимов работы тягово-транспортных средств сельскохозяйственного назначения (на примере трактора ВТЗ-2048) посредством использования компенсатора динамической мощности предлагает Демидов А.В. [64]. Пономарев В.М. в своей работе анализирует варианты и выбирает эффективный распределитель мощности в трансмиссии легкового автомобиля (на примере гибридного ИЖ-2126) и квадрицикла [67], на этих материалах Полозов А.В. в своей работе выбирает рациональные компоновочные схемы малогабаритных транспортных средств на этапе дизайн-проектирования [68]. Нгуен К.Т. в своей работе развивает теорию и методы повышения энергоэффективности однодвигательных тяговых электроприводов автотранспортных средств на примере гибридного автомобиля, спроектированного в МАМИ на базе УАЗ-3151 [66].

Первое десятилетие исследований в области конструирования и оптимизации комбинированных энергоустановок для различных типов транспортных и транспортно-технологических машин завершается сразу тремя

обобщающими теоретическими исследованиями, связанными с повышением эффективности тягово-транспортных средств при использовании накопителей энергии (Иванов С.А., последняя работа из МГАУ) [69], повышением эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой (Строганов, В.И., МАДИ) [74] и обоснованием параметров малогабаритных транспортных средств сельскохозяйственного назначения с широкими функциональными возможностями (Дзоценидзе Т.Д., НАМИ) [51].

Во второй половине 10-х годов 21 века интенсивность исследований снизилась, соответственно, и результатов, выражающихся в защитах стало меньше. Акцент исследований сместился в сторону разработки комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей (Азаров В.К., НАМИ) [70], исследования эффективности использования энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии для зарядки электротранспорта (Шуркалов П.С.) [71], предложения методов расширения функциональных возможностей автомобиля при помощи КЭУ под контролем логики управления прогностического типа (Деев О.И., последняя работа из МАМИ) [73]. В работе Куликова И.А. (НАМИ) предложено совершенствование средств создания и исследования автомобилей с комбинированными энергоустановками с помощью технологий виртуально-физических испытаний, выполненной на примере гибридного автомобиля, спроектированного из электромобиля «Лада Эллада» [75]. Разработка методики расчета и выбор рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля предложены в работе Козловой Т.А. [78].

Отдельные исследования по компонентной базе продолжил Аджиманбетов С.Б. разработав электромеханические приводы для автотранспортных средств [86], Лазарев Д.Б. [72], предложивший энергоэффективную систему индивидуального электропривода ведущих колес транспортного средства, а Мишин Н.В. разработал и исследовал автономный электропривод с низкой чувствительностью к параметрическим изменениям [76]. Гулямов К.Х. в сво-

ей работе предложил энергетическую установку электромобиля с системой многоканального преобразования постоянного напряжения [80], Омара А.М.Э. разработал и реализовал алгоритмы управления тяговым электроприводом, обеспечивающие экономичность автономных электрических транспортных средств [81], а Лутонин А.С. предложил структуру и алгоритмы энергоэффективного управления электротехническим комплексом транспортного средства с использованием мотор-колес с синхронными двигателями [82], Чуйдук И.А. проанализировал подходы к разработке вентильных электродвигателей комбинированного возбуждения для электрических трансмиссий наземных транспортных средств [92], Грищенко А.Г. предложил тяговый инвертор с интегрированным зарядным устройством для электромобильного транспорта [88].

Два крупных проекта, датированных 20-ми годами 21 века, связанных с созданием и совершенствованием электробусов «КамАЗ» и «ЛиАЗ», а также разработкой гибридного автомобиля представительского класса «Аурус» потребовали изучения характеристик тяговой аккумуляторной батареи и механизма их влияния на эксплуатационные свойства гибридного автомобиля представительского класса (Маликов Р.Р., НАМИ) [83], алгоритмов управления тепловым режимом накопителей электрической энергии для электрифицированных транспортных средств (Биксалеев Р.Ш.) [84], методики расчета параметров системы, необходимой для управления тепловыми режимами накопителей электрической энергии гибридных и электрических транспортных средств (Нгуен Х.М., НАМИ, МАДИ) [91], решения задач повышения тормозной динамики электромобилей и гибридных автомобилей, включающих в состав антиблокировочной системы фрикционные тормозные механизмы и электромашины (Умницын А.А., НАМИ) [85], активного распределения момента между осями полноприводного электромобиля (Заватский А.М., НАМИ) [90].

Попытка повышения энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей предпринята Оспанбековым Б.К. на приме-

ре электробусов КамАЗ-5299 [79], предложения по повышению энергетической эффективности системы тягового электропривода безрельсового транспортного средства сформулированы также Поповым Н.С. [89], а Дедов С.И. провел изыскания направленные на повышение энергоэффективности силовой гибридной установки автономного транспортного средства [88].

Таким образом, значительная часть работ, всецело связана с обоснованием параметров и характеристик как электромобилей, так и гибридных транспортных с комбинированными энергоустановками различных видов. Вероятнее всего, исследования в этом направлении продолжатся, так как программа развития отечественной промышленности предполагает исследования для создания собственной компонентной базы, позволяющей подтвердить цели импортозамещения.

Лишь незначительное количество работ касается надежности и технической эксплуатации, большинство было выполнено в МГАУ имени В.П. Горячкина в период с 2006 по 2013 годы. Например, в работе Чупеевой Е. Э. рассматривались вопросы повышение надежности тягово-транспортных средств с комбинированной энергоустановкой, за счет оперативного контроля состояния тяговой батареи [93], Легеза Г.В. предложил совершенствование технического сервиса мобильных электроагрегатов с автономным электроснабжением за счет оптимизации средств обслуживания [94]. Григорьев И.Г. определял подходы к повышению работоспособности аккумуляторной батареи тягово-транспортных средств с комбинированной энергоустановкой [58], а Бобровицкий Н.М. в своей работе предлагал технические решения, повышающие эксплуатационную технологичность мобильных электроагрегатов за счет комбинированного накопителя, включающего аккумуляторные батареи и суперконденсаторы [97]. Обобщение подходов к технической эксплуатации мобильных электроагрегатов было представлено в работе Асадова Д.Г. [96]

Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей на примере «Тойоты Приуса» разработана Раковым В.А.

[95], а совершенствование системы мониторинга работоспособности электротехнического комплекса автономного транспортного объекта Новиковой А.П. [77].

Следует отметить, что из пяти крупнейших научных групп к настоящему моменту реальные результаты показывают всего две – ФГУП «НАМИ» и МАДИ. Совместно с этими организациями ведутся перспективные исследования в рамках «Передовой инженерной школы электротранспорта» Московского политехнического университета (до 2016 года МГТУ «МАМИ») и передовой инженерной школы «Моторы будущего» Уфимского университета науки и технологии.

1.4 Обзор публикаций в области переоборудования транспортно-технологических машин и повторного использования тяговых аккумуляторных батарей

Проблемам повторного использования источников энергии, устанавливаемых на различных типах транспортных и транспортно-технологических машин, стали уделять внимание сразу с началом их массового выпуска. Еще относительно недавно любая транспортно-технологическая машина рассматривалась как достаточно сложный объект для переработки ввиду разнообразия конструкций, но при этом переработка рассматривалась как обязательная часть жизненного цикла. Все это привело к созданию различных вариантов систем утилизации, порядок работы которых и нормативные ограничения были сформулированы на рубеже веков, то есть к началу 2000-х годов.

С появлением новых типов транспортных и транспортно-технологических машин, оснащенных тяговыми аккумуляторами (первым серийным примером стала Toyota Prius в 1999 году) возник вопрос насколько подходят принятые ранее подходы при завершении их эксплуатации. Выбывшее из эксплуатации транспортное средство не только было сложнее по конструкции, но и содержало большее количество ценных материалов. По-

мимо этого, в силу особенностей конструкции и использовании значительного количества узлов, которые не подвергаются явному износу и способны выполнять свои функции даже при завершении эксплуатации всей машины.

Естественной идеей, нацеленной на сокращение потребления первичных ресурсов, стало изучение вопросов, связанных с повторным использованием всех компонентов, входивших в состав выбывшей из эксплуатации транспортной или транспортно-технологической машины. В качестве первичных запросов, взятых в качестве отправной точки были «вторичное использование аккумуляторных батарей» и «переоборудование автомобилей в электромобили» в двух поисковых системах SciDirect и SciScience, использующих в своей работе элементы искусственного интеллекта. Результат по первому запросу – вторичное использование аккумуляторных батарей – составило 184701 публикацию, по второму – переоборудование автомобилей в электромобили – составило 16778 публикаций – на порядок меньше. В целом, заметное количество публикаций имеет место уже в 2001 году, то есть одновременно с появлением первых выбывающих из строя гибридных автомобилей. По мере роста интереса к перспективным транспортным средствам количество публикаций стремительно растет (рисунки 1.9, 1.10), сохраняя десятикратную разницу ввиду того, что проблема повторного использования аккумуляторных батарей оказалась не только важной с точки зрения экологических проблем, но и коммерчески привлекательным направлением, требующим поиска эффективных и безопасных решений по повторному использованию. Структура публикаций по видам представлена на рисунках 1.11 и 1.12.

Следует отметить, что поисковые системы собрали все публикации где в каком либо контексте были упомянуты ключевые слова из запросов и далеко не все из них нам интересны в контексте проводимого исследования. Кроме того, следовало бы определить какие научные центры являются лидерами в области исследований, поэтому после просмотра значительного количества

публикаций была сформирована коллекция из работ, доступных для свободного скачивания.

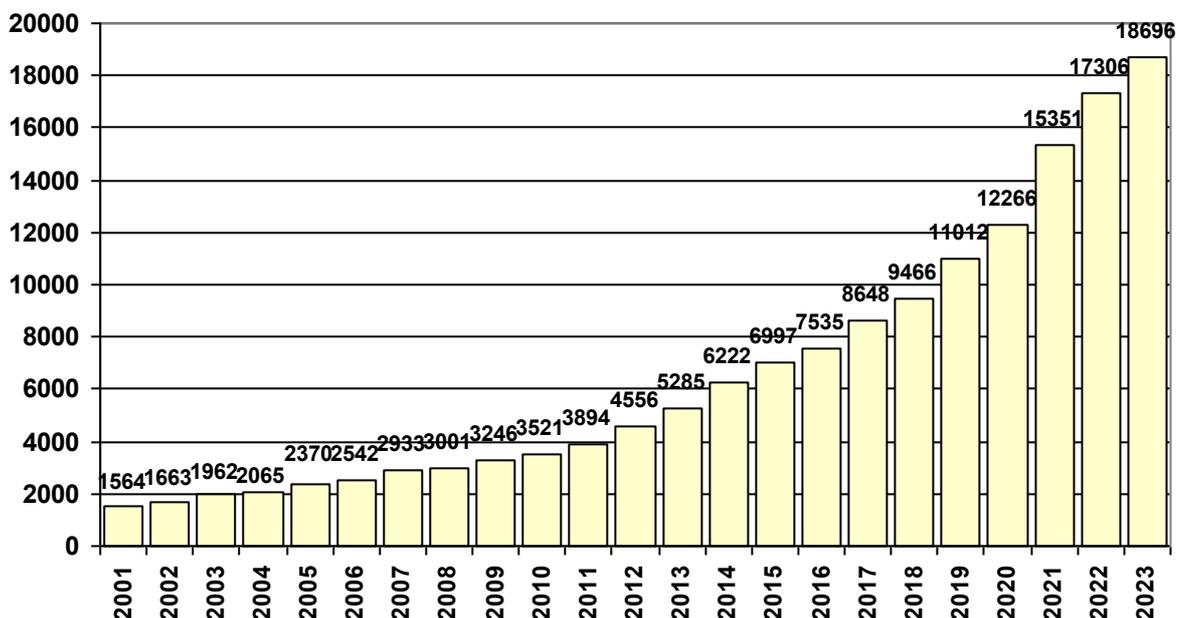


Рисунок 1.9 – Динамика публикационной активности по запросу «вторичное использование аккумуляторных батарей»

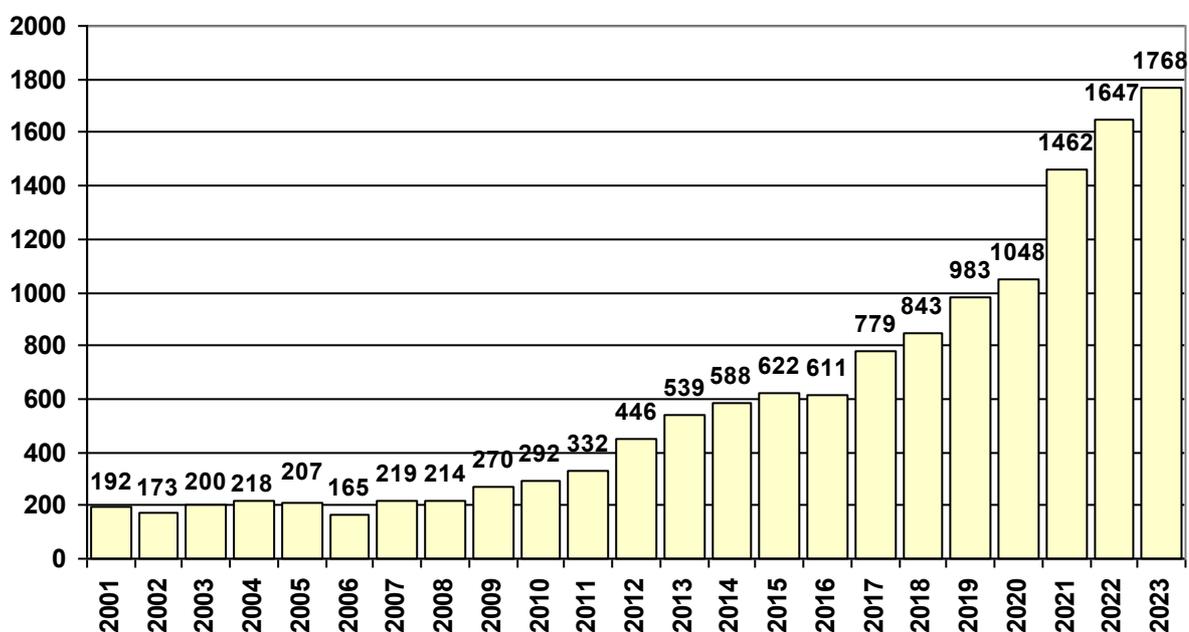


Рисунок 1.10 – Динамика публикационной активности по запросу «переоборудование автомобилей в электромобили»

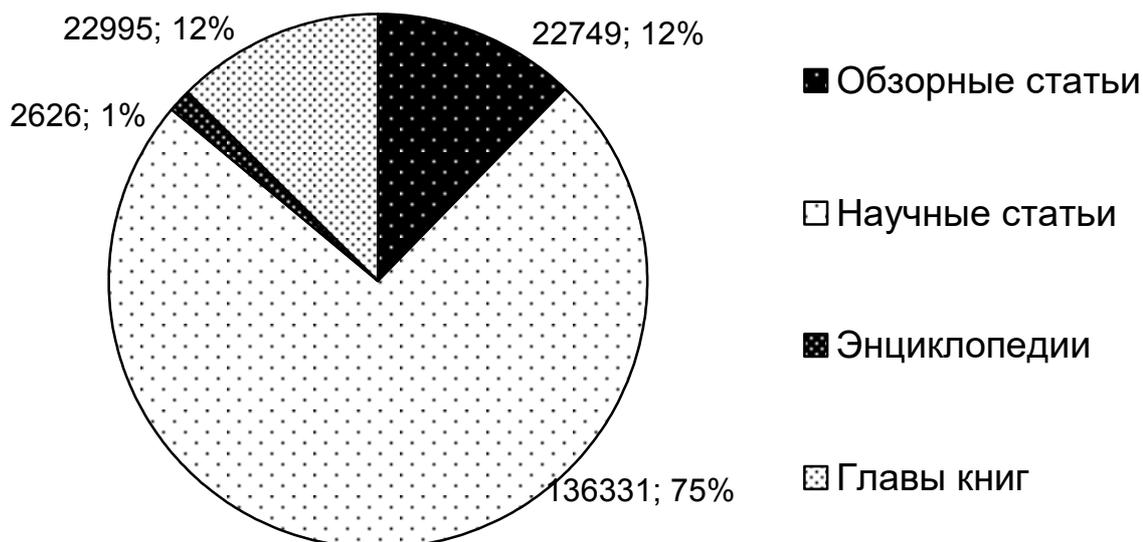


Рисунок 1.11 – Структура публикационной активности по запросу «вторичное использование аккумуляторных батарей»

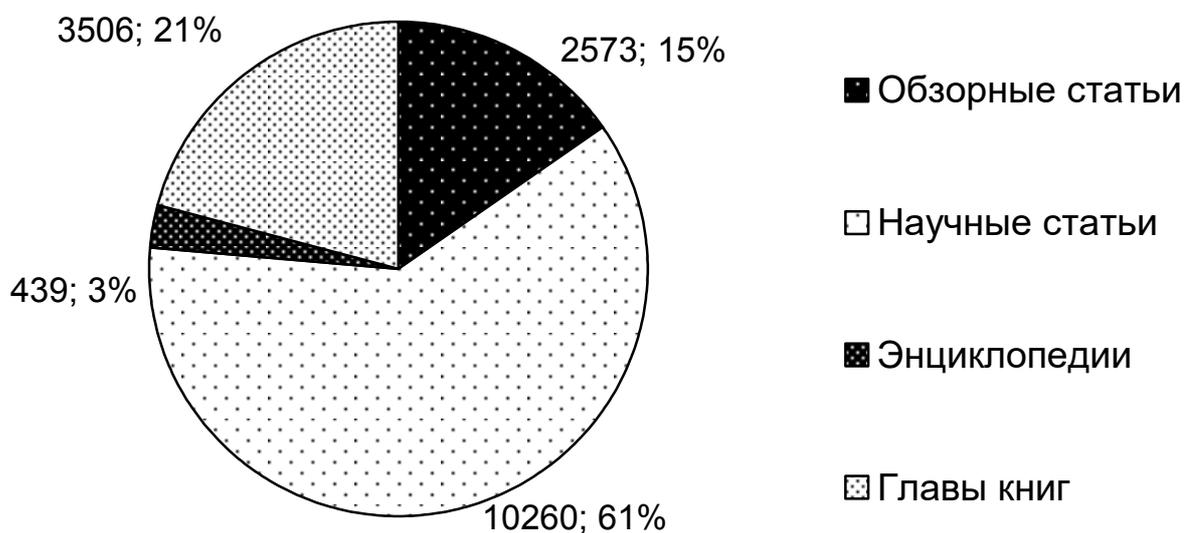


Рисунок 1.12 – Структура публикационной активности по запросу «переоборудование автомобилей в электромобили»

Все выбранные работы были не только проанализированы, но и загружены в исследовательскую он-лайн систему «Researchrabbit» для анализа авторского вклада в исследование темы. Коллекция работ позволила сузить набор интересующих нас публикаций до соответствующих по тематике загруженной коллекции.

Анализ принадлежности авторов позволил выявить зарубежные научные организации и компании, занимающиеся рассматриваемой нами пробле-

матикой и имеющих значительное количество публикаций (более 100) в научной периодической литературе, к основным можно отнести Национальную лабораторию возобновляемых источников энергии (NREL, США), Рейнско-Вестфальский университет Аахена (RWTH Aachen, Германия); Институт системных и инновационных исследований Фраухофера (Fraunhofer ISI, Германия), Национальный университет Сингапура, Университет Абердина, Ньюкаслский университет, Техасский университет A&M, Магдебургский университет Отто фон Герике, Университет Порту, Университет Коимбры, Чунцинский университет, Университет Бирмингема, Университет Флоренции, Швейцарская высшая техническая школа Цюриха, Технологический институт Нью-Джерси, Оксфордский университет, Юго-Западный университет Цзяотун, Университет Шаньдун, Университет Лимерика, Фольксваген Групп, Шэньянский сельскохозяйственный университет, Стэнфордский университет, Китайский университет науки и технологий и многие другие.

Основная часть публикаций, помимо больших тематических отчетов, выпускаемых Национальной лабораторией возобновляемых источников энергии (NREL, США) публикуется в журналах «Journal of Energy Storage» (Elsevier), «Fuel» (Elsevier), «Science of the Total Environment» (Elsevier), «World Patent Information» (Elsevier), «Energy Conversion and Management» (Elsevier), «Journal of Power Sources» (Elsevier), «Resources, Conservation and Recycling» (Elsevier), «Asian Transport Studies» (Elsevier), «Energy Reports» (Elsevier), «Green Energy and Intelligent Transportation» (Elsevier), «Mechanism and Machine Theory» (Elsevier), «Structural Change and Economic Dynamics» (Elsevier), «Transportation Research Part D» (Elsevier), «Energy Policy» (Elsevier), «Applied Energy» (Elsevier), «Energy» (Elsevier), «Alexandria Engineering Journal» (Elsevier), «Engineering Failure Analysis» (Elsevier), «Environmental Innovations and Societal Transitions» (Elsevier), «Results in Engineering» (Elsevier), «Smart Energy» (Elsevier), «Ain Shams Engineering Journal», «Energy and Build Environment» (KeAi – Chinese Rots Global Impact), «Helion» (Cell Press),

«Physical Sciences» (Cell Press), «Sustainability» (Cell Press), «Energies» (MDPI), «Batteries» (MDPI), «Recycling» (MDPI) и другие.

В целом обзор публикаций позволил сгруппировать для анализа три тематических группы работ, имеющих общую концепцию, но отличающихся по предлагаемым идеям и результатам, в контексте нашего исследования отдельно можно выделить проблематику эффективности преобразования подержанных автомобилей в электромобили и проблематику электрификации транспортно-технологических машин для сельского хозяйства.

1.5. Целесообразность преобразования подержанных автомобилей в электромобили

Большинство публикаций сходится во мнении, что преобразование подержанных автомобилей в электромобили, представляет собой интересное направление как для автомобильной промышленности, так и для собственников автомобилей, сочетающее усилия по обеспечению экологичности с доступностью для потребителей. По мере того, как электромобили становятся более привлекательными благодаря развитию инфраструктуры и различным предпочтениям, переоборудование существующих автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) в электрические становится жизнеспособной стратегией увеличения срока службы транспортных средств при минимизации воздействия на окружающую среду, связанного с производством новых автомобилей [98, 99]. Эта тенденция согласуется с более широкими целями создания экономики замкнутого цикла, при которой повторное использование и репрофилирование активов имеет приоритет над непрерывным созданием новых производств, что позволяет снизить потребление ресурсов и выбросы вредных веществ, связанные с производством транспортных средств [100, 101].

Электрификация подержанных автомобилей имеет определенную поддержку не только своим экологическим эффектом, но и потенциалом повышения удобства вождения и безопасности за счет внедрения передовых тех-

нологий, например, таких как рекуперативное торможение [102, 103]. Более того, поскольку государственный и частный секторы наращивают поддержку электромобилей, чему способствуют достижения в области возобновляемых источников энергии и растущая потребительская база, модернизация существующих транспортных средств рассматривается как экономически эффективная и устойчивая альтернатива приобретению новых электромобилей [100, 101]. Этот переход особенно актуален в свете роста цен на топливо и настоятельная необходимость смягчения последствий изменения климата за счет снижения зависимости от ископаемых видов топлива [100].

Несмотря на свою перспективность, процесс преобразования сталкивается с рядом проблем, включая технические, финансовые и нормативные барьеры, которые могут помешать широкому внедрению. Высокие затраты на переоборудование, сложности с соблюдением нормативных требований и дефицит технических знаний, необходимых для успешного переоснащения, создают значительные препятствия для потенциальных пользователей [99, 103]. Кроме того, опасения по поводу увеличения добычи полезных ископаемых для производства дополнительных аккумуляторных батарей, добавляют остроты дискуссиям вокруг электрификации подержанных автомобилей [104, 105].

В целом, переход к замене подержанных автомобилей на электромобили, как выпущенные новыми, так и преобразованными из подержанных потенциально может изменить будущее транспорта, сделав его более соответствующим представлениям о перспективном транспорте [100, 106].

Преобразование подержанных автомобилей в электромобили требует системного подхода, который включает в себя выбор правильных компонентов, обеспечение совместимости и соблюдение протоколов безопасности на протяжении всего процесса.

Первым шагом в процессе преобразования является выбор подходящего комплекта оборудования, адаптированного к конкретной модели автомобиля. Комплекты для переоборудования различаются в зависимости от мар-

ки, модели и года выпуска автомобиля. Обычно они включают в себя основные компоненты, такие как электродвигатель, контроллер двигателя, аккумулятор, зарядное устройство и другие необходимые аксессуары [107, 108], о чем было относительно подробно будет рассказано в пункте 2.4. Для успешного переоборудования крайне важно выбрать комплект, совместимый с трансмиссией и ходовой частью автомобиля, а также с электрическими системами автомобиля.

Значительная часть процесса переоборудования включает в себя демонтаж существующего двигателя внутреннего сгорания (ДВС). На этом этапе требуются специализированные инструменты и оборудование, обеспечивающие безопасность и эффективность демонтажа. После удаления ДВС освободившееся пространство можно использовать для установки электрических компонентов, включая двигатель и аккумуляторную батарею [107].

Интеграция различных компонентов имеет решающее значение для успешного преобразования. Это включает в себя подключение контроллера двигателя, аккумуляторной батареи, зарядного устройства и других электрических компонентов. Следование указаниям на электрических схемах и в рекомендациях по установке, предоставленных производителем комплекта для преобразования, имеет важное значение для обеспечения безопасности и надлежащего функционирования получившегося транспортного средства. Внимание к деталям на этом этапе имеет решающее значение, так как неправильное подключение может привести к снижению работоспособности и угрозам безопасности [107].

Аккумуляторная батарея служит основой электроавтомобиля, и ее характеристики определяют его потребительские свойства. Варианты её установки могут различаться в зависимости от состава комплекта для переоборудования и доступного пространства внутри автомобиля. Наиболее распространенными местами являются багажник, пол или моторный отсек [107]. Обеспечение надлежащего крепления и изоляции аккумуляторной батареи имеет жизненно важное значение как для безопасности, так и для оптимальной работы.

После завершения преобразования необходимо провести тщательное тестирование и тонкую настройку, чтобы убедиться в правильной работе всех компонентов. Этот этап может включать в себя корректировку настроек двигателя, калибровку системы управления аккумулятором и проверку соединений. Хотя преобразование «своими руками» возможно, оно требует глубоких знаний и навыков. Поэтому часто рекомендуется обратиться за профессиональной помощью, например, в специализированные сервисные предприятия, чтобы обеспечить надежный и безопасный процесс преобразования [107]. После первоначального тестирования могут быть внесены окончательные изменения для улучшения характеристик. Это включает в себя интеграцию систем рекуперативного торможения, которые позволяют транспортному средству преобразовывать кинетическую энергию обратно в накопленную энергию во время торможения. Такие системы не только повышают эффективность, но и расширяют диапазон использования переоборудованного транспортного средства [109]. Тщательно соблюдая эти методы переоборудования, владельцы транспортных средств могут успешно превратить свои подержанные автомобили в электромобили, что способствует снижению эксплуатационных затрат за счет отказа от значительных затрат на топливо в пользу меньших затрат на электрическую энергию [100].

При оценке эффективности переоборудования подержанных автомобилей в электромобили важную роль играют несколько ключевых показателей. К ним относятся снижение веса автомобиля, улучшение аэродинамики, повышение эффективности батареи и силового агрегата, а также повышение плотности заряда батареи. Реализация этих мер по повышению эффективности может привести к снижению затрат на эксплуатацию транспортных средств и повышению производительности, а также к минимизации количества сырья, необходимого для производства аккумуляторов [110].

Недавнее исследование, проведенное Electric Power Research Institute (EPRI) и Natural Resources Defense Council (NRDC) [108], подчеркивает потенциал повышения эффективности электромобилей для значительного со-

кращения потребления электроэнергии в будущем. К 2050 году повышение эффективности электромобилей может вдвое сократить потребление электроэнергии на километр и снизить общий спрос на электроэнергию на сотни тераватт-часов в год. Такие усовершенствования могут привести к экономии потребителей, превышающей 200 миллиардов долларов в год, при условии, что стоимость транспортных средств останется стабильной [110]. Это подчеркивает важность оптимизации энергоэффективности при переоборудовании подержанных автомобилей для достижения долгосрочных экономических и экологических выгод.

Эффективность электромобилей заметно выше, чем у автомобилей с бензиновым двигателем. Электромобили могут преобразовывать более высокий процент энергии из сети в полезную мощность, в основном благодаря таким технологиям, как рекуперативное торможение, которое позволяет восстанавливать энергию во время торможения [111, 112]. Несмотря на то, что КПД электрических силовых агрегатов в настоящее время составляет от 82% до 93%, они по-прежнему выделяют избыточное тепло, что приводит к общему КПД около 85% [113]. Однако эффективность производства энергии в электросетях также играет жизненно важную роль; например, использование гидроэнергетики может значительно снизить общую потребность в энергии по сравнению с автомобилями, работающими на бензине [114].

Стимулы и механизмы финансирования также влияют на эффективность переоборудования электромобилей. Например, в США федеральные программы и программы штатов предлагают финансовую поддержку различным видам деятельности, связанным с электромобилями, от инфраструктуры зарядки до приобретения транспортных средств, что может помочь снизить общие затраты, связанные с переоборудованием подержанных автомобилей в электрические модели [115]. Закон о снижении инфляции (IRA) предоставляет производителям производственные кредиты, хотя степень, в которой это приводит к снижению потребительских цен, остается неопределенной [105]. Поскольку интерес к электромобилям продолжает расти, пони-

мание и использование этих факторов эффективности будет иметь решающее значение для содействия внедрению новых электромобилей.

Преобразование подержанных автомобилей в электромобили сопряжено с рядом проблем и ограничений, которые необходимо устранить для успешного внедрения.

Одним из существенных препятствий являются затраты, связанные с процессом переоборудования. Даже при существующих стимулах первоначальные затраты на переоборудование бензинового автомобиля в электрический могут оказаться непомерно высокими для многих потребителей, особенно с низкими доходами. Например, в то время как «Закон о снижении инфляции» (IRA) предусматривает кредит в размере 4000 долларов на подержанные электромобили стоимостью менее 25000 долларов, средняя цена покупки транспортного средства для лиц, находящихся в неблагоприятном экономическом положении, составляет чуть более 13000 долларов, что указывает на существенный разрыв в ценовой доступности. Кроме того, общая стоимость электромобилей выросла, несмотря на субсидии, что еще больше усложняет доступ к ним [105].

Соблюдение нормативных стандартов создает еще одну проблему. После модернизации транспортное средство должно пройти тщательные испытания на безопасность и сертификацию, чтобы обеспечить соответствие различным нормам безопасности и выбросов, установленным такими органами, как Национальное управление безопасности дорожного движения (NHTSA) и Агентство по охране окружающей среды (EPA) в США [116]. Несоблюдение этого требования может привести к юридическим проблемам и повлиять на безопасность и стоимость переоборудованного транспортного средства при перепродаже. Таким образом, наличие сертифицированных специалистов, знакомых с местными нормативными актами, имеет решающее значение для преодоления этих сложностей, то есть самостоятельное переоборудование электромобилей технически возможно, но очень сложно узаконить эти изме-

нения особенно если модернизированному транспортному средству предстоит передвигаться по дорогам общего пользования [116].

Технические аспекты переоборудования транспортного средства также сопряжены со значительными трудностями. Это включает в себя обеспечение надлежащей установки аккумуляторных батарей, что включает в себя выбор подходящих типов батарей (например, литий-ионных, литий-железо-фосфатных или свинцово-кислотных) и управление высоковольтной проводкой для предотвращения опасных ситуаций [116]. Кроме того, интеграция систем управления и проведение тщательных испытаний для обеспечения безопасной и эффективной работы транспортного средства требуют значительных знаний и ресурсов [116]. Каждый этап конверсии должен быть тщательно спланирован, чтобы избежать потенциальных рисков для безопасности, которые могут отпугнуть людей, не обладающих техническими знаниями, от реализации таких проектов [100].

Еще одной насущной проблемой является наличие важнейших полезных ископаемых, необходимых для производства электромобилей. По мере роста мирового спроса на электромобили конкуренция за эти ресурсы усиливается, что может привести к дефициту предложения и росту цен на компоненты электромобиля [105]. Такая ситуация усугубляется длительными процедурами выдачи разрешений на добычу полезных ископаемых, которые могут привести к задержке доступа к необходимым материалам и увеличению затрат, что в конечном итоге повлияет на осуществимость перепрофилирования и более широкий переход к электрификации транспортных средств [105]. Вариантом снижения зависимости от дефицита первичных ресурсов является вторичное использование компонентов электромобилей, которые по каким-либо причинам оказались на рынке вторичных компонентов.

Использование электромобилей набирает популярность в целом ряде стран, например Китае, странах Евросоюза и Соединенных Штатах как средство сокращения выбросов углекислого газа. Значительная часть поездок на автомобиле – примерно 80% – выполняется на расстояние менее 10 миль, что

делает переоборудованные электромобили привлекательным вариантом для локальных ежедневных поездок [117]. Опыт частных лиц и компаний реализовавших проекты по преобразованию транспортных средств, работающих на бензине, в электромобили, привело к определенным успехам в странах Европы и США. В Китае такой подход не практикуется.

Исследования по изучению потенциала модернизации электромобилей, уже проводятся в США при поддержке Volkswagen Group of America Inc. в сотрудничестве со Стэнфордским исследовательским вычислительным центром, с целью совершенствования технологии и определения рациональных подходов к возможности модернизации электромобилей [118].

Процесс трансформации автомобиля в электромобиль зависит от его состояния и предполагаемого использования. Эксперты советуют выбирать высококачественный автомобиль-донор, поскольку плохое состояние может усложнить процесс переоборудования. Популярными кандидатами на переоборудование являются классические автомобили, грузовики большой грузоподъемности и спортивные автомобили. Такие факторы, как вес автомобиля, совместимость деталей и механическое состояние, играют решающую роль в успехе переоборудования [100, 119].

Последние достижения в области технологии электродвигателей значительно повысили эффективность и эксплуатационные характеристики электромобилей. Наиболее часто используемыми двигателями для преобразования энергии являются двигатели переменного тока (АС), которые отличаются своей эффективностью, преобразуя более 85 % электрической энергии в механическую, по сравнению с менее чем 40 % для традиционных двигателей внутреннего сгорания [107, 109]. Эти двигатели обеспечивают почти мгновенное ускорение и более высокий крутящий момент, что делает их более отзывчивыми и приятными в управлении, чем их бензиновые аналоги [120].

Аккумуляторные технологии являются еще одной важной областью инноваций в области электромобилей. Традиционные литий-ионные аккумуляторы дополняются новыми альтернативами, такими как твердотельные ба-

тарей, которые обещают более высокую плотность энергии и улучшенные характеристики безопасности. Эти аккумуляторы потенциально могут обеспечить на 50 % больший радиус действия и более быстрое время зарядки, чем существующие литий-ионные аккумуляторы [121, 122].

Создание более доступной и эффективной инфраструктуры зарядки также сыграло важную роль в развитии электромобилей. Усовершенствованные бортовые зарядные устройства, преобразующие переменный ток, получаемый от зарядных станций, в постоянный ток для аккумуляторов, упростили интеграцию электрических систем в существующие транспортные средства [123]. Кроме того, технология vehicle-to-grid (V2G) позволяет электромобилям взаимодействовать с электросетью, оптимизируя время зарядки и улучшая управление энергопотреблением для пользователей [120].

Системы рекуперативного торможения – это инновационная функция, которая значительно повышает общую эффективность переоборудованных транспортных средств. Позволяя автомобилю восстанавливать энергию, обычно теряемую при торможении, эти системы могут увеличить запас хода и снизить потребление энергии [114]. Эта технология улучшает качество вождения, позволяя управлять автомобилем «одной педалью», что упрощает управление и повышает общую эффективность автомобиля [120].

Эволюция комплектов для переоборудования упростила работу энтузиастов над проектами электромобилей. В настоящее время многие комплекты разработаны для обеспечения совместимости с различными марками и моделями автомобилей и содержат все необходимые компоненты, такие как электродвигатели, аккумуляторные батареи и контроллеры [108]. Такая оптимизация процесса переоборудования позволяет более широкому кругу пользователей участвовать в переоборудовании электромобилей, делая переход к устойчивому транспорту более доступным, чем когда-либо [124]. Благодаря этим инновациям, использование подержанных автомобилей для преобразования в электромобили продолжает набирать обороты, обеспечивая устойчивую альтернативу новым транспортным средствам.

На переход к электромобилям существенное влияние оказывают различные стратегии и стимулы, направленные на внедрение экологически чистых транспортных средств. Эти механизмы необходимы для снижения затрат, связанных с владением электромобилями, и поощрения потребителей к отказу от использования обычных транспортных средств.

В Соединенных Штатах федеральные льготы играют ключевую роль на рынке электромобилей. Новая льгота по налогу на чистые транспортные средства (30D) и льгота по налогу на подержанные транспортные средства (25E), вступившие в силу с 1 января 2024 года, позволяют потребителям получать налоговые льготы в местах продажи, что упрощает им доступ к финансовым выгодам при покупке электромобилей или подключаемых гибридных электромобилей с электроприводом (PHEVs) [125]. В зависимости от автомобиля покупатель могут получить кредиты на сумму 3750, 4000 или 7500 долларов, которые также могут служить первоначальным взносом [125].

Более того, федеральные программы финансирования, такие как те, которые установлены Законом об инвестициях в инфраструктуру и создании рабочих мест (IIJA) и Законом о снижении инфляции (IRA), предлагают значительные финансовые ресурсы, направленные на поддержку развития инфраструктуры электромобилей и стимулирование на государственном уровне [126]. Эти инициативы имеют решающее значение для экономического развития штата и помогают местным властям в реализации их соответствующих программ по повышению энергоэффективности.

На уровне штатов федеральные программы дополняются многочисленными мерами политики и финансовыми стимулами. Например, в Калифорнии приняты правила, согласно которым к 2035 году значительная часть продаж новых автомобилей должна приходиться на автомобили с нулевым уровнем выбросов [127]. Другие штаты, включая Нью-Йорк, Нью-Джерси и Массачусетс, рассматривают возможность введения аналогичных требований [127]. Программы, ориентированные на конкретные штаты, часто включают налоговые льготы, уступки и гранты для стимулирования как покупки элект-

тромобилей, так и установки зарядной инфраструктуры. Местные поставщики коммунальных услуг часто вводят свои собственные стимулы, повышающие привлекательность внедрения электромобилей. Примером этой тенденции являются такие программы, как программа Empower EV от Pacific Gas and Electric, а также стимулы от местных властей, таких как Alameda Municipal Power, которая предлагает базовый стимул в размере 1500 долларов или до 6000 долларов для покупателей с низким доходом [128, 129].

Будущее преобразования подержанных автомобилей в электромобили становится все более многообещающим по мере развития технологий и изменения предпочтений потребителей. В условиях продолжающегося перехода к электрификации автомобилей, преобразованные в электромобили позиционируются как устойчивая альтернатива приобретению новых электромобилей.

Технология аккумуляторных батарей остается на переднем крае внедрения электромобилей. Продолжающееся развитие твердотельных аккумуляторов, которые заменяют традиционные жидкие электролиты твердыми материалами, открывает возможности для повышения плотности энергии и безопасности. Эти усовершенствования могут увеличить дальность езды и ускорить время зарядки, значительно улучшая удобство использования переоборудованных транспортных средств [130, 121].

1.6. Обзор перспектив и проблем электрификации транспортно-технологических машин для сельского хозяйства

Обзор перспектив и проблем электрификации транспортно-технологических машин для сельского хозяйства был представлен на международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященная 90-летию со дня рождения Н.М. Шарова в конце 2024 года [131].

На появление тенденции к электрификации сельскохозяйственных транспортно-технологических машин большое влияние оказали экологиче-

ские проблемы, характерные для государств с развитым транспортом и высоким уровнем механизации сельскохозяйственных работ, а также спрос на более устойчивые методы ведения сельского хозяйства. Производители видят будущее, в котором электрифицированные транспортно-технологические машины будут работать наряду с традиционными машинами, работающими на дизельном топливе. Однако полная замена парка сельскохозяйственной техники, использующей дизельное топливо электрическими машинами в ближайшем будущем представляется маловероятной [132].

Исследования и разработки в отрасли в значительной степени направлены на повышение эффективности электродвигателей и изучение альтернативных видов топлива, таких как сжатый и сжиженный природный газ, водород, синтетическое топливо и биотопливо. Для повышения общей производительности машины внедряются усовершенствованные варианты силовых агрегатов, включая гибридные электрические системы и системы, работающие на топливных элементах [133].

В ответ на ужесточение экологических стандартов наблюдается значительный рост инвестиций производителей оригинального оборудования в технологии электрификации сельскохозяйственных машин различного назначения. Этот сдвиг также обусловлен увеличением спроса сельскохозяйственных предприятий и их собственников на экономически эффективные и экологичные методы производства. Аналитики прогнозируют, что к 2027 году мировой рынок электрифицированных транспортно-технологических машин в таких секторах, как сельское и коммунальное хозяйство, строительство и горнодобывающая промышленность, может достичь 100 миллиардов долларов в год [134].

Несмотря на эти достижения, переходный процесс сталкивается с рядом препятствий. Мощные электрические тракторы остаются непрактичными из-за существующих ограничений по продолжительности работы из-за недостаточной емкости применяемых в настоящее время батарей. Например, для работы трактора мощностью 300 лошадиных сил от аккумулятора потре-

буется машина вдвое большего размера, веса и стоимости, чем его дизельный аналог [132]. Кроме того, потенциальные собственники электрифицированных транспортно-технологических машин часто выражают обеспокоенность по поводу срока службы аккумулятора, времени зарядки и затрат, связанных с заменой аккумулятора [132].

Электрификация сельского хозяйства, которую часто называют «переходом на другие виды топлива», дает значительные преимущества малогабаритным транспортно-технологическим машинам. Одним из основных преимуществ является снижение зависимости от традиционно негативной динамики на используемое ими дизельное топливо. С переходом на использование электрической энергии, эксплуатанты электрифицированных транспортно-технологических машин сократят выбросы углекислого газа, что позволит им утверждать об активном участии в решении неотложных проблем, связанных с изменением климата или плохим качеством воздуха [135, 137].

Электрическое сельскохозяйственное оборудование, включая тракторы и орудия труда, также позволяет потенциальным собственникам электрифицированных транспортно-технологических машин автоматизировать больше повседневных процессов и оптимизировать свои операции для повышения эффективности [135]. Эта тенденция к электрификации связана не только с заменой силового агрегата, трансмиссии и ходовой части транспортно-технологических машин, но и с электрификацией вспомогательных устройств и орудий, которые традиционно приводились в действие механическим, гидравлическим или пневматическим способом [136].

Эксплуатационные расходы на электрическое сельскохозяйственное оборудование, как правило, снижаются из-за снижения расхода топлива и необходимости технического обслуживания. Ожидается, что мировой рынок только электротракторов значительно вырастет – с 0,7 млрд долларов США в 2024 году до 3,4 млрд долларов США к 2030 году, что подчеркивает экономический потенциал и переход к более устойчивым методам ведения сельского хозяйства [137].

Электрификация малогабаритных сельскохозяйственных машин дает определенные экономические преимущества, особенно для мелких собственников электрифицированных транспортно-технологических машин. Одним из основных преимуществ является возможность существенного снижения эксплуатационных затрат, сопряженных с эксплуатацией техники. Эксплуатация традиционных тракторов и оборудования, работающих на дизельном топливе, часто сопряжена с высокими эксплуатационными расходами из-за большого расхода топлива, постоянного роста стоимости топлива и необходимости относительно частого технического обслуживания. В отличие от них, электрифицированные транспортно-технологические машины, потенциально имеют более низкие эксплуатационные затраты, поскольку электроэнергия, как правило, дешевле дизельного топлива, а электрические двигатели, учитывая их конструкцию, требуют меньшей трудоемкости технического обслуживания [137, 140].

Использование электрифицированных транспортно-технологических машин может способствовать повышению эффективности работы персонала сельскохозяйственного предприятия, общему снижению затрат на рабочую силу, что может способствовать получению дополнительной экономической выгоды, а также меньшей зависимости от дефицита кадров, характерной для сельского хозяйства. Считается, что электрифицированные транспортно-технологические машины, должны быть оснащены передовыми технологическими решениями в области робототехники и автоматизации, следовательно, могут выполнять такие задачи, как посев, прополка и сбор урожая, с большей точностью и меньшим количеством ручного труда [132]. Это не только снижает потребность в рабочей силе, но и повышает производительность труда, позволяя собственникам электрифицированных транспортно-технологических машин обрабатывать большие площади или выращивать несколько культур одновременно.

Финансовые стимулы и субсидии, предлагаемые правительствами и организациями в ряде стран мира для продвижения устойчивых методов веде-

ния сельского хозяйства, делают электрифицированные транспортно-технологические машины привлекательной инвестицией, например, для мелких фермеров. Эти стимулы могут компенсировать первоначальные затраты на приобретение электрифицированных транспортно-технологических машин, делая переход от традиционной дизельной техники более доступным для будущих собственников [138, 139].

Электрифицированные транспортно-технологические машины способствуют долгосрочной экономии за счет повышения общей устойчивости выполнения производственных процессов сельскохозяйственных предприятий. Они обеспечивают нулевой уровень выбросов, тем самым снижая воздействие на окружающую среду и потенциально снижая любые затраты, связанные с соблюдением экологических норм [138]. Внедряя электрифицированные транспортно-технологические машины, небольшие сельскохозяйственные предприятия могут удовлетворить растущий спрос на экологически чистые методы ведения сельского хозяйства, что потенциально открывает новые рыночные возможности и повышает их экономическую жизнеспособность [137, 139].

По мере усиления озабоченности в мире по поводу экологической устойчивости и изменения климата агропромышленный комплекс начинает обращать внимание на новые технологии, способные снизить выбросы не только вредных веществ, но и выбросы углекислого газа. В связи с этим наиболее перспективной разработкой в этой области является электрификация транспортно-технологических машин, которые смогут послужить экологически чистой и бесшумной альтернативой традиционной самоходной технике [137].

Электрические тракторы предполагаются как более экологичное решение для сельскохозяйственных предприятий по сравнению с моделями, работающими на традиционных ископаемых топливах [137]. Экологические преимущества электрических сельскохозяйственных машин включают значительное сокращение выбросов парниковых газов и снижение уровня шума,

что может положительно сказаться как на здоровье человека, так и на местной фауне [137]. Эти машины также способствуют снижению загрязнения почвы, поскольку устраняют риск разливов и утечек топлива, которые характерны для транспортно-технологических машин, работающих на традиционных видах топлив [137]. Кроме того, электрические тракторы могут улучшить качество воздуха за счет нулевого уровня выбросов, тем самым снижая количество вредных загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу [137].

Электрическая малогабаритная сельскохозяйственная техника обладает рядом экологических преимуществ по сравнению с традиционными аналогами, работающими на ископаемом топливе. Одним из основных преимуществ является сокращение выбросов токсичных веществ, решение насущных проблем, связанных с изменением климата и плохим качеством воздуха [137]. Отсутствие шума и выхлопных газов делает электрифицированные транспортно-технологические машины идеальными для выполнения работ внутри помещений, например, уборки помещений животноводческих ферм, раздачи корма животным, погрузочно-разгрузочных работ и работ с растениями в тепличных комплексах [140]. Эти преимущества особенно заметны у компактных электрических тракторов мощностью не более 20...70 лошадиных сил, которые хорошо подходят для работы в ограниченных пространствах, таких как животноводческие помещения, тепличные хозяйства, складские и перерабатывающие комплексы.

Электрифицированные транспортно-технологические машины способствуют устойчивому ведению сельского хозяйства за счет потенциального использования робототехнических технологий, что повышает эффективность различных видов работ [132]. Такая интеграция робототехнических и зеленых технологий не только повышает операционную эффективность, но и способствует улучшению условий труда и совершенствованию производственных процессов, делая сельскохозяйственные предприятия более устойчивыми к внешним факторам [141].

Переход на электрифицированные транспортно-технологические машины для сельского хозяйства обусловлен глобальными экологическими проблемами и необходимостью повышения экономической эффективности [134]. По мере ужесточения экологических стандартов в развитых странах агропромышленный комплекс все активнее внедряет современные технологии для удовлетворения требований потребителей в устойчивых экологически нейтральных методах ведения сельского хозяйства. Этот переход способствует достижению цели сельскохозяйственной отрасли по сокращению выбросов углекислого газа при сохранении высокого уровня производительности.

Разработка и внедрение электрифицированных транспортно-технологических машин сопряжено с рядом технологических проблем, главным из которых является создание надежной и широко распространенной инфраструктуры зарядки. Например, грузовые электромобили для коммерческого использования становятся все более распространенными, обеспечение удобного и эффективного доступа к зарядным станциям имеет решающее значение для их более широкого внедрения [142, 138]. Кроме того, долговечность и надежность электрифицированных транспортно-технологических машин имеет первостепенное значение, так как в агропромышленном комплексе требуется техника, способная выдерживать сложные условия сельскохозяйственных работ и адаптированная к быстрому и недорогому ремонту [142, 138].

Современные транспортно-технологические машины, которые включает в себя целый ряд транспортных средств – от небольших коммунальных агрегатов до крупных тракторов и комбайнов – должны соответствовать жестким требованиям, связанным с большим весом и длительным рабочим временем, часто продолжающимся несколько смен в течение суток. Это еще больше усложняет процесс электрификации, поскольку машины должны быть способны стабильно работать на нескольких рабочих площадках без частой подзарядки [138]. Интеграция передовых систем управления в новые

модели тракторов, опрыскивателей и комбайнов обеспечивают ранее недостижимый уровень точности, сочетая программное обеспечение с электрическими контроллерами и приводами [143, 134].

В настоящее время заложены основы для массовой электрификации всех типов транспортно-технологических машин, но по мере того, как крупные производители начинают разрабатывать их прототипы, они сталкиваются со значительными логистическими трудностями, связанными с заменой машин, работающих на дизельном топливе, в полевых условиях [141]. Одним из важнейших факторов, способствующих как способствующих, так и препятствующих более широкому внедрению электрифицированных транспортно-технологических машин в сельскохозяйственных предприятиях, является инфраструктура для зарядки [141]. Обеспечение удобной и эффективной зарядки электрифицированных транспортно-технологических машин в обособленных отделениях даже одного сельскохозяйственного предприятия остается существенным препятствием.

Долговечность и надежность также являются основными проблемами для сельскохозяйственных предприятий, которым требуется оборудование, способное выдерживать высокую нагрузку в период основных полевых работ при этом легко и быстро ремонтироваться. Учитывая требовательный характер современного сельского хозяйства, которое в значительной степени зависит от разнообразного парка транспортных средств и спецтехники – от квадроциклов и небольших полноприводных автомобилей до высокопроизводительных тракторов и комбайнов больших классов – проблема становится еще более серьезной. Эти машины должны не только эффективно работать в течение длительного рабочего дня и на нескольких участках, но и выдерживать значительные нагрузки по весу и мощности, необходимые для выполнения сельскохозяйственных задач [141].

Первоначальные инвестиционные затраты на электрифицированные транспортно-технологические машины могут быть значительными, особенно для мелких фермеров. Переход на электрическое оборудование был обуслов-

лен глобальными экологическими проблемами и необходимостью повышения экономической производительности, при этом за последние пять лет заметно возрос интерес к этой задаче со стороны мировых производителей оригинального оборудования (ОЕМ-производителей) [134]. Однако финансовые последствия для небольших сельскохозяйственных предприятий существенно отличаются от таковых для крупных сельскохозяйственных предприятий. Концепция точного земледелия часто ассоциируется с крупными сельскохозяйственными предприятиями, но она также имеет потенциал применения в условиях небольших предприятий [139].

В исследовании Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) и организации «Инновации в борьбе с бедностью» (ИРА) подчеркивается, что на внедрение новых технологий мелкими фермерами влияют несколько факторов, включая финансовые барьеры и способность поддерживать инвестиции [144]. Это подчеркивает важность понимания экономического контекста и конкретных потребностей мелких фермеров при рассмотрении вопроса о первоначальных инвестициях в электрифицированные транспортно-технологические машины.

Электрифицированные транспортные средства могут изменить сельскохозяйственные производственные процессы, повысив экологичность и эффективность [132]. Сельскохозяйственная техника с электроприводом, имеют ряд преимуществ перед традиционной дизельной техникой, особенно с точки зрения эффективности и воздействия на окружающую среду и персонал [132]. Однако первоначальные инвестиционные затраты на электрифицированные транспортно-технологические машины могут быть значительно выше по сравнению с традиционной техникой [145].

Разница в стоимости обусловлена передовыми технологиями, реализованными в электрифицированных транспортно-технологических машинах, включая электроприводы, аккумуляторы и робототехнику, которые определяют существенную первоначальную цену [145]. И наоборот, традиционные сельскохозяйственные тракторы, которые используют хорошо зарекомендо-

вавшие себя дизельные двигатели, как правило, имеют более низкие первоначальные затраты [133]. Несмотря на более высокие первоначальные инвестиции, электрические тракторы могут обеспечить экономию средств в долгосрочной перспективе за счет снижения затрат на топливо и требований к техническому обслуживанию, поскольку электрические двигатели, как правило, имеют меньше движущихся частей и менее подвержены износу по сравнению со своими дизельными аналогами [133].

Таким образом, несмотря на более высокие первоначальные инвестиции, потенциал долгосрочной экономии и экологические преимущества делают электрифицированные транспортно-технологические машины привлекательным вариантом даже для небольших сельскохозяйственных предприятий, стремящихся внедрять более экологичные производственные процессы [133, 145].

Электрическая сельскохозяйственная техника, в частности электротракторы, способны преобразовать подходы к ведению сельского хозяйства за счет повышения устойчивости и эффективности [132, 141]. Одним из ключевых преимуществ этих инноваций является их положительное влияние на окружающую среду: здоровье почвы и биоразнообразие. Традиционные тракторы с дизельным двигателем часто способствуют уплотнению почвы из-за их большого веса и постоянной эксплуатации, что может препятствовать росту корней и снижать аэрацию почвы [138]. Напротив, электрические тракторы, несмотря на наличие батареи, могут весить меньше и могут быть сконструированы таким образом, чтобы свести к минимуму воздействие на почву, сохраняя ее структуру и способствуя сохранению корневой системы растений. Внедрение электрифицированных транспортно-технологических машин устраняет выбросы загрязняющих веществ, характерных для дизельных двигателей, которые могут оказывать пагубное воздействие на почву и жизнь растений [138, 139]. Благодаря бесшумной работе и возможности использования возобновляемой энергии электрифицированные транспортно-технологические машины помогают поддерживать более здоровую экоси-

стему, окружающую сельскохозяйственное предприятие, поддерживая более широкий спектр биоразнообразия [139]. Переход на электрическую технику согласуется с более широким переходом к более экологичным и устойчивым методам ведения сельского хозяйства, направленным на решение насущных экологических проблем, таких как изменение климата и качество воздуха [137, 138].

Непрерывный прогресс в области аккумуляторных технологий сыграл важную роль в повышении производительности и внедрении малогабаритных электрических сельскохозяйственных машин. Исторически сложилось так, что свинцово-кислотные аккумуляторы использовались для электрификации оборудования, работающего на дизельном и бензиновом топливе. Однако их ограничения, такие как низкая удельная энергия и сниженная производительность при низких температурах, препятствуют их широкому использованию в более крупной сельскохозяйственной технике [148].

Развитие технологии литиевых аккумуляторов ознаменовало поворотный момент, сделав электрификацию сельского хозяйства более жизнеспособной. Литиевые аккумуляторы значительно улучшают эксплуатационные характеристики по сравнению со свинцово-кислотными, включая более высокую удельную энергию и КПД [148]. Эти достижения подтолкнули производителей к изучению электрических машин в качестве дополнения к традиционному оборудованию, работающему на дизельном топливе [132].

Например, во время основного выступления на выставке «CES 2023» компания John Deere продемонстрировала значительные инновации, отражающие потенциал электрификации сельского хозяйства. Компания представила технологию точного внесения удобрений «ExactShot» и электрический экскаватор, которые призваны повысить производительность, прибыльность и экологичность для фермеров. «ExactShot», например, использует датчики и роботизированные исполнительные механизмы для точного внесения удобрений в процессе посева, что сокращает использование удобрений более чем на 60% [146, 147].

Резюмируя все публикации по этой тематике позволяют утверждать, что переход на электрифицированные транспортно-технологические машины также приносит такие преимущества, как высокая эффективность, низкие затраты на техническое обслуживание и возможность для сельскохозяйственных предприятий использовать собственную генерацию электроэнергии, например, вырабатываемую из возобновляемых источников, таких как биогаз или фотоэлектрические системы [149]. Эти достижения открывают многообещающие перспективы для интеграции электрических технологий в сельскохозяйственные машины всех типов и классов.

Стремление к технологическому суверенитету за последние годы привело к тому, что сразу несколько проектов обратили внимание на необходимость унификации сложных компонентов, входящих в конструкцию электромобилей. Например, практически совместно, модульную платформу для серийных электромобилей различных классов готовят на заводе «Москвич» и силами стартапа «Атом». В этом же направлении работает и ФГУП «НАМИ», причём деятельность научного института поддерживает государство. Проект ФГУП «НАМИ» предполагает разработку отечественной модульной платформы, которая бы могла быть использована при производстве электромобилей и гибридных автомобилей сразу в трех классах В+, С+ и D+ в соответствии с международной неофициальной классификацией. Задача института заключается в унификации компонентной базы для этой платформы, предполагающей исполнение в виде последовательного гибрида или электромобиля. Ведущую роль ФГУП «НАМИ» в разработке этой компонентной базы отвели не случайно. ФГУП «НАМИ» успешно довело до серийного производства линейку представительских автомобилей «Aurus» на гибридной платформе, разработала электрический мотоцикл «Merlon» для правительственных кортежей, а также для реализации обычным покупателям, ведет совершенствование компонентной базы для отечественных электробусов. Все эти разработки включены в федеральный национальный про-

ект «Промышленное обеспечение транспортной мобильности», призванный вывести промышленность страны на передовые позиции.

1.7. Специфика использования литий-ионных аккумуляторных батарей и ее влияние на образование отходов и структуру системы обращения с выбывшими из использования аккумуляторами

Повышение интереса общественности к электромобилям привело специалистов, занимающихся обеспечением работоспособности этого типа транспортных средств, к вопросу организации обращения с выбывшими из эксплуатации батареями. В настоящее время объемы образования отходов в виде выбывших из эксплуатации литий-ионных батарей электромобилей невелики, но, учитывая опыт эксплуатации портативных потребительских электронных устройств, и проблем с переработкой их аккумуляторных батарей, систему обращения с аккумуляторами необходимо разрабатывать не откладывая на будущее [157].

Исследования процессов послеексплуатационного обращения с аккумуляторными батареями, как правило литий-ионными и их разновидностями, например, литий-железо-фосфатными, электромобилей, а также потребительской электроники начались в начале 2000-х годов, когда стало понятно, что объемы списания аккумуляторов будут нарастать, причем стремительными темпами, грозя не только загрязнением природных территорий, но и потерей ценных минеральных ресурсов, используемых при их производстве. В связи с этим, на международном уровне стали вестись разработки различных видов систем учета и идентификации аккумуляторных отходов.

Например, широко известна модель LIBRA, которая была разработана Национальной лабораторией возобновляемых источников энергии с использованием программного обеспечения «Stella» в конце первого десятилетия 21 века [158]. Ее назначение заключается в визуализации представления запасов сырья, потоков образования аккумуляторных отходов, показе прямой и об-

ратной взаимосвязи между этими материальными группами. Хотя модель предназначена для оценки эволюции индустрии литий-ионных аккумуляторов примерно с 2000 по 2050 год, обычно она используется для представления прогнозных результатов на период с 2020 по 2050 год. Модель включает два больших блока (рисунок 1.13), один из которых отвечает за процесс завершения использования аккумуляторов, а второй отвечает за производственные предприятия и предприятия по переработке отходов.



Рисунок 1.13 – Структура обращения с выбывшими из эксплуатации литий-ионными батареями из различных источников

При анализе образования отходов выбывших из эксплуатации батарей принято определять источники образования, такие как: потребительская электроника, системы хранения энергии, средства индивидуальной мобильности, электромобили легковые, электромобили коммерческие (грузовые), электробусы. Помимо источников образования выбывших из эксплуатации аккумуляторных батарей принято выделять несколько отдельных химических составов электродов аккумуляторов. Самыми распространенными при-

нято считать несколько основных видов (в скобках указано общепринятое международное обозначение): литий-никель-марганец-кобальт-оксидные аккумуляторы (NMC), литий-никель-кобальт-алюминий-оксидные аккумуляторы (NCA), литий-железо-фосфатные (LFP) аккумуляторы, литий-кобальт-оксидные аккумуляторы (LCO), литий-титанатные аккумуляторы (LTO) и другие [159, 160, 161, 162, 163, 164, 165].

Анализ использования различных типов аккумуляторных батарей и сведения о количественных параметрах выполняется различными правительственными и неправительственными организациями во всем мире на основе данных о производстве различных типов устройств, имеющих в своем составе аккумуляторные батареи. Прогнозы спроса на новые батареи объединяются со спросом на запасные батареи для оценки общего спроса на них и определения потенциального рынка выбывающих из эксплуатации батарей.

Рынок вторичных батарей формируется из батарей, выброшенных конечными пользователями (чаще из потребительской электроники) и батарей, собранных для вторичной переработки (чаще всего от организаций, перерабатывающих различные технические устройства). На рынке вторичных батарей происходит самое важное и ответственное мероприятие – оценка возможности повторного использования батарей по первоначальному или по новому назначению. Для предприятий, осуществляющих сбор вторичных батарей это является важным этапом, так как напрямую влияет на объем их выручки, так как батарея как вторичное устройство является значительно более ценным ресурсом чем батарея как источник сырья. Вторичная батарея также может частично заменить первичные (новые) батареи при недостаточности производства для удовлетворения спроса.

Важным элементом системы обращения с выбывшими из эксплуатации батареями является рынок сырья. Он обеспечивает учет движения запасов ценных сырьевых материалов, таких как кобальт, литий и никель. Начиная с использования в качестве сырья для производства, минералы проходят весь свой жизненный цикл, поскольку они входят в состав различных химических

элементов питания, используются в различных устройствах и могут быть либо переработаны, либо захоронены на свалке с обычными отходами.

Важнейшие материалы, которые можно найти на сырьевом рынке, в основном используются для производства катодов – положительных электродов литий-ионных батарей. Катоды обычно производятся отдельно от аккумуляторов, основываясь на прогнозируемом спросе на катоды со стороны производителей аккумуляторов, предполагающих различные способы их использования (электромобили, стационарные хранилища и бытовая электроника). Производство катодов зависит от производственных мощностей и может быть ограничено фактическим спросом на катоды, а также нехваткой минерального сырья.

Производство аккумуляторов зависит от мощности по производству батарей, которая, в свою очередь, зависит от спроса на батареи, как на первичные, так и на те, что используются в качестве запасных частей.

Прямая переработка – новая технология переработки, которая основана на регенерации разрушенных катодных активных материалов (в первую очередь лития) с помощью процесса, называемого вторичным литиированием [166, 167]. Конечным продуктом этого процесса является не разделенные минералы, а восстановленный катод, который затем может быть установлен в новую батарею. При производстве аккумуляторов используются переработанные катоды, что снижает производственный спрос на новые катоды и связанные с ними минеральные компоненты.

Прямая переработка аккумуляторных батарей конкурирует с разрушительными гидрометаллургическими и пирометаллургическими методами переработки. Гидрометаллургические методы включают выщелачивание критических элементов, тогда как пирометаллургические (пиротехнические) методы включают реакции восстановления-окисления при повышенных температурах для расплавления и очистки элементов. Оба метода способствуют извлечению компонентов из катода: кобальта, никеля и лития из каждой батареи, обработанной деструктивным методом.

В основу определения специфики использования различных видов литий-ионных аккумуляторных батарей были заложены сведения, полученные на основе анализа динамики производства и потребления аккумуляторных батарей, мониторинга рынка различных устройств, содержащих в своей конструкции литий-ионные аккумуляторы, а также проведение опросов и интервью для понимания того, как потребители приобретают, используют и утилизируют свои устройства, начиная от мобильного телефона и заканчивая электромобилями. В качестве целевой аудитории применительно к электронным устройствам были выбраны обычные потребители, а применительно к аккумуляторам мобильных машин специалисты сервисных предприятий и индивидуальные предприниматели, специализирующиеся на ремонте и обслуживании электромобилей.

Специфика использования аккумуляторных батарей в различных устройствах отличается не только режимами, но и сроками службы, а также особенностями поведения собственников устройств при их отказе или устаревании. Первым примером массово использования литий-ионных батарей являются потребительские товары, самыми массовыми из которых являются смартфоны и портативные компьютеры.

Как показали выполненные исследования, схема эксплуатации потребительских устройств достаточно проста, как для анализа, так и для учета и прогнозирования количества потенциально образующихся отходов (рисунок 1.14). Спрос на новые аккумуляторы формируется продажами потребительских устройств и затем увеличивается в зависимости от ежегодных изменений потребительского спроса. В качестве первоначального допущения при укрупненном прогнозировании объемов образования отходов можно предположить, что в батареях потребительских электронных устройств используется химический состав на основе оксида лития и кобальта (LCO) с прогнозом постепенной замены на литий-никель-марганец-кобальт-оксидные аккумуляторы (NMC) таким образом, что к 2040 году на долю NMC будет приходиться примерно 80 % продаж [157, 161, 162, 163].

Опрошенные в рамках исследования собственники потребительской электроники предполагают, что срок службы их устройств составит примерно четыре года, и они без проблем будут заменены так как продаются в больших количествах. Таким образом, потребительская электроника составляет значительную часть аккумуляторов, срок службы которых истекает, особенно на период до 2030 года, после которого первенство по образованию потока выбывших из эксплуатации батарей перейдет к автомобилям, массовые модели которых начнут выбывать к этому времени.

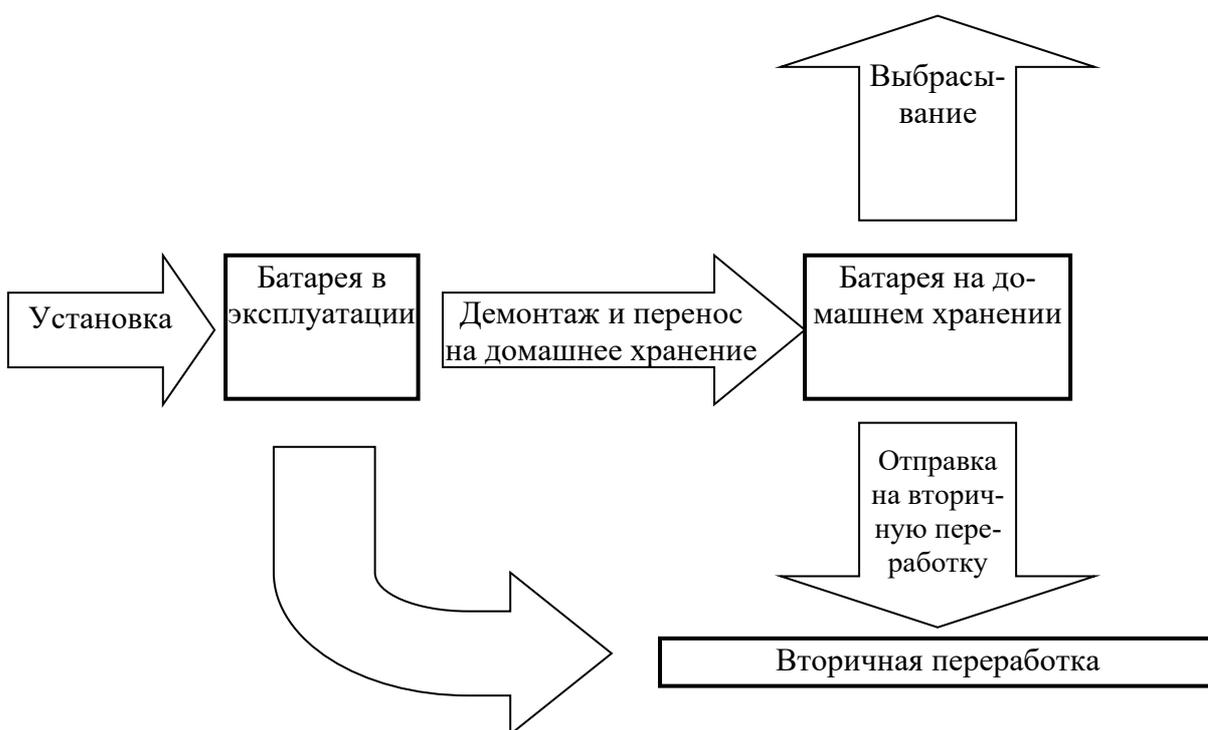


Рисунок 1.14 – Структура жизненного цикла аккумуляторной батареи в потребительских электронных устройствах

В соответствии с данными проведенного исследования типовой сценарий действий собственника потребительского электронного устройства, по истечении срока службы аккумуляторов сводится к отправке на переработку всего устройства или отправке на хранение в домашних условиях (с предполагаемой целью восстановить устройство, которая, из-за быстрого морального устаревания, остается не реализованной на практике). После пребывания на домашнем хранении, батареи из потребительского устройства либо отдельно, либо в составе устройства в итоге будут выброшены, либо переданы

уполномоченным организациям (как предлагают инструкции к устройствам) для вторичной переработки.

Следует отдельно отменить такую разновидность бытовых аккумуляторных систем, которые не имеют большого распространения в России, но снискали большую популярность в странах, где поощряется использование возобновляемых источников энергии. К ним относятся стационарные аккумуляторы, используемые для хранения избытка энергии, генерируемой возобновляемыми источниками. Предполагается, что с 2030 по 2040 год емкость хранилищ будет увеличиваться значительными темпами, учитывая почти экстренный отказ от использования невозобновляемых источников энергии в начале 20-х годов двадцать первого века.

Считается, что средний срок службы аккумуляторов в накопителях энергии, производившихся с 2015 года составлял девять лет, а затем линейно будет увеличиваться до 15 лет к 2040 году, по мере смены химического состава батарей, позволяющего добиться большей долговечности. Соответственно предполагается, что со временем спрос на сырье с низким содержанием кобальта (NMC811) возрастет, что с одной стороны будет способствовать снижению стоимости новых батарей, но при этом будет снижать ценность сырья после их переработки, то есть инвестиции в их переработку могут оказаться не достаточно эффективными.

Использование тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ) транспортных средств (ТС) существенным образом отличается от потребительской электроники и систем накопления энергии, хотя характеристики ТАБ сопоставимы с накопительными аккумуляторными батареями, как по срокам службы, так и по химическому составу [165, 168]. В отличие от аккумуляторных батарей стационарных систем и потребительских устройств, автомобильные аккумуляторы могут быть заменены до вывода транспортного средства из эксплуатации, особенно на ранних этапах производства моделей, когда срок службы батареи невелик по сравнению со сроком службы самого транспортного средства (предполагается, что он составляет не менее 12 лет, а в России

средняя продолжительность эксплуатации уже превысила 14 лет [169]). Соответственно, каждое транспортное средства формирует потребность как в новых, так и в запасных батареях. Наконец, если транспортные средства сдаются на утилизацию до того, как их аккумулятор выйдет из строя (например, из-за аварии или механической неисправности транспортного средства), аккумулятор извлекается из транспортного средства и либо повторно используется в составе другого транспортного средства, либо перерабатывается (рисунок 1.15).

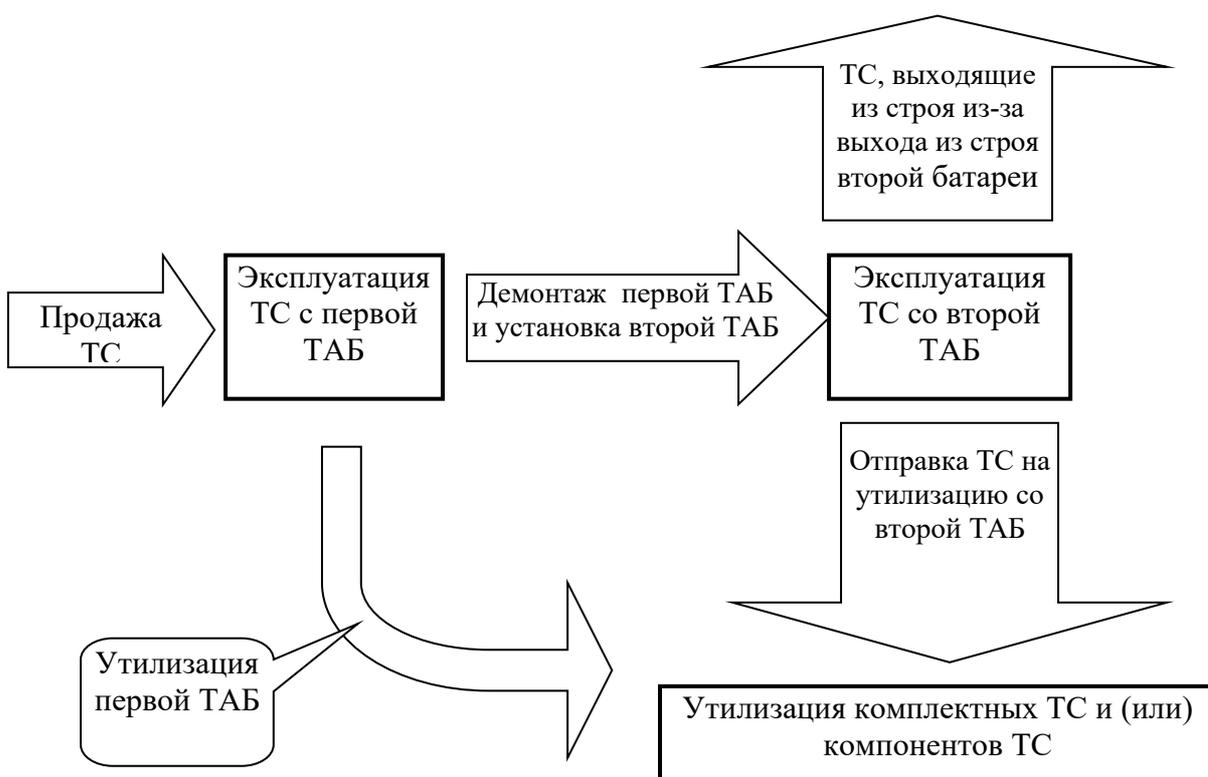


Рисунок 1.15 – Структура жизненного цикла тяговой аккумуляторной батареи электрических транспортных средств (гибридных и батарейных)

Электрические транспортные средства включают в себя несколько видов: электромобили с аккумуляторными батареями (BEV), подключаемые гибридные электромобили (PHEV), за исключением электробусов и модулей для двух- и трехколесных электрических транспортных средств, которые чаще всего не производятся как гибридные. Прогноз продаж электромобилей и гибридных автомобилей с распределением по химическому составу, аккумуляторов, используемых ТАБ, по типам транспортных средств (рисунок 1.16)

основаны на прогнозе развития производства электромобилей Bloomberg New Energy Finance на 2021 год до 2040 года, а затем прогнозируются тенденции на период до 2050 года [157, 163].

Конструкция и химический состав аккумуляторов обычно различается в зависимости от типа транспортного средства, что позволяет оптимизировать производительность и срок службы аккумулятора в зависимости от эксплуатационных характеристик транспортного средства (например, городские автобусы, как правило, имеют более короткий транспортный цикл, поэтому плотность энергии не имеет принципиального значения, а высокая стоимость, связанная с использованием кобальта, является проблемой для крупных коммерческих транспортных средств и, таким образом, преобладают химические вещества, не содержащие кобальт) [164].

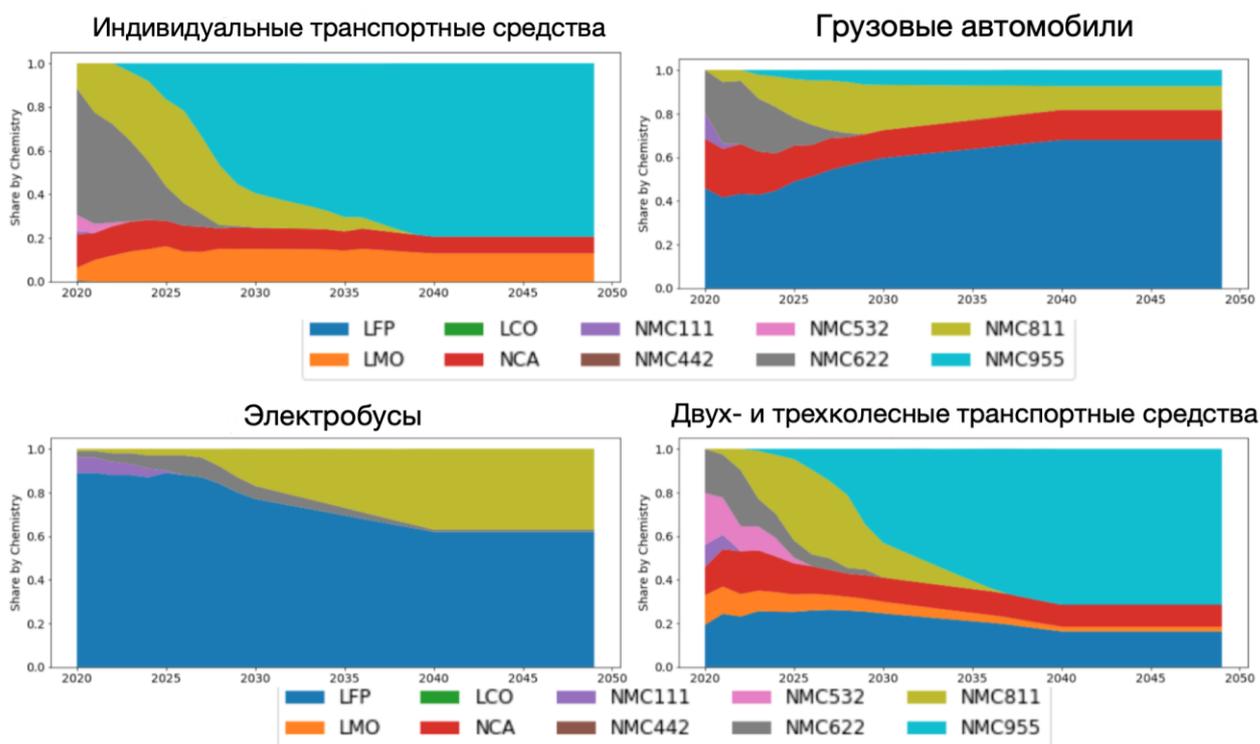


Рисунок 1.16 – Прогноз изменения химического состава новых аккумуляторных батарей для различных типов транспортных средств [157, 161, 162, 163]

Характеристики тяговых аккумуляторных батарей, используемых в транспортных средствах, постоянно изменяются. Большинство легковых электромобилей, а также двух и трех колесных транспортных средств в середине 10-х годов 21 века имели максимальный срок службы тяговой аккумуля-

ляторной батареи в среднем около 9 лет (рисунок 1.17). Постепенно продолжительность эксплуатации тяговых батарей увеличивается, в 2023 году большинство производителей уверенно указывают гарантийный (даже не максимальный) 8-10 лет, а перспектива – к 2040 году достичь 15 лет. Параллельно происходит увеличение емкости тяговых аккумуляторных батарей, так в 2015 году она в среднем составляла около 48 кВт·ч, но, учитывая имеющиеся в настоящее время тренды изменения емкости, на 2040 год можно дать прогноз увеличения до 90 кВт·ч [170].

Схожая ситуация имеет место и у различных видов коммерческой техники, то есть у пассажирских электромобилей категории М2 и М3 (электробусы), а также грузовых электромобилей категорий N1, N2 и N3 (рисунок 1.18). Более жесткий режим работы обуславливает меньший срок службы тяговых аккумуляторных батарей, который в 2015 году оценивался на уровне 6 лет, перспективы увеличения срока службы более скромные – к 2040 году всего 10 лет. В коммерческом транспорте также параллельно происходит увеличение емкости тяговых аккумуляторных батарей, так в 2015 году для категории N1 она в среднем составляла около 60 кВт·ч, то на 2040 год дается прогноз увеличения до 130 кВт·ч; для категории N2 и N3 она в среднем составляла около 120 кВт·ч, то на 2040 год дается прогноз увеличения до 352 кВт·ч.

Ёмкость батарей электробусов (категория М3) в отличие от остальных групп транспортных средств изменится не значительно, так как специфика их использования не меняется на протяжении десятилетий и не значительно изменится в перспективе, так в 2015 году для категории М3 она в среднем составляла около 160 кВт·ч, то на 2030 год дается прогноз увеличения до 176 кВт·ч.

Специфика использования литий-ионных аккумуляторов оказывает влияние на образование отходов аккумуляторных батарей с появлением четких закономерностей, но при этом имеющиеся закономерности могут легко претерпеть изменения, поскольку в области обращения с отходами аккумуляторных батарей есть место инновациям и изменениям, способным на них по-

влиять. Это связано с различными циклическими моделями, описывающими подходы к использованию аккумуляторов, которые могут претерпевать изменения, позволяя сокращать количество образующихся отходов и затрат, необходимых для обращения с ними.

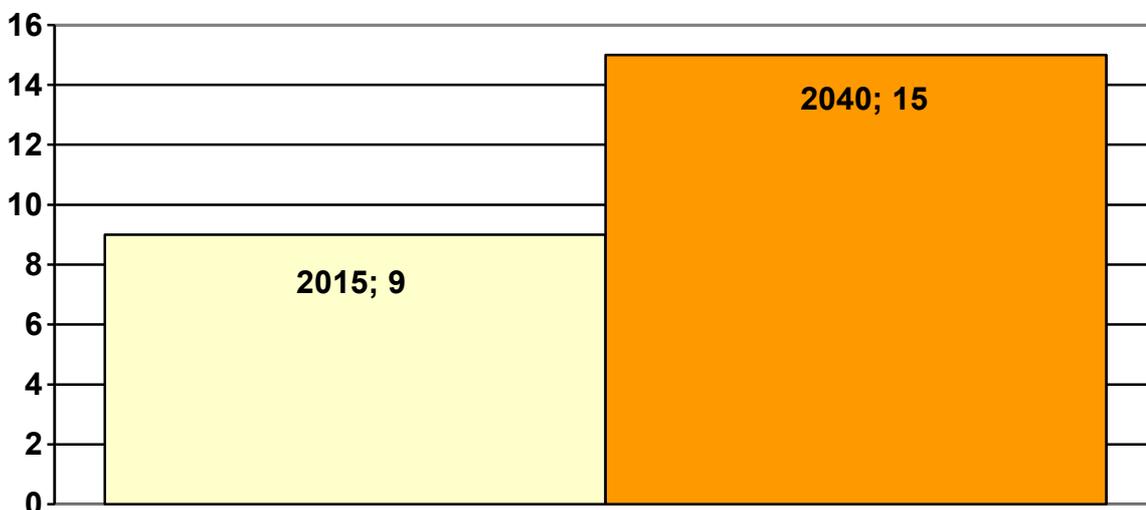


Рисунок 1.17. Прогноз изменения срока службы новых аккумуляторных батарей для легковых электромобилей (категория M1) и легких колесных транспортных средств (категория L) [171]

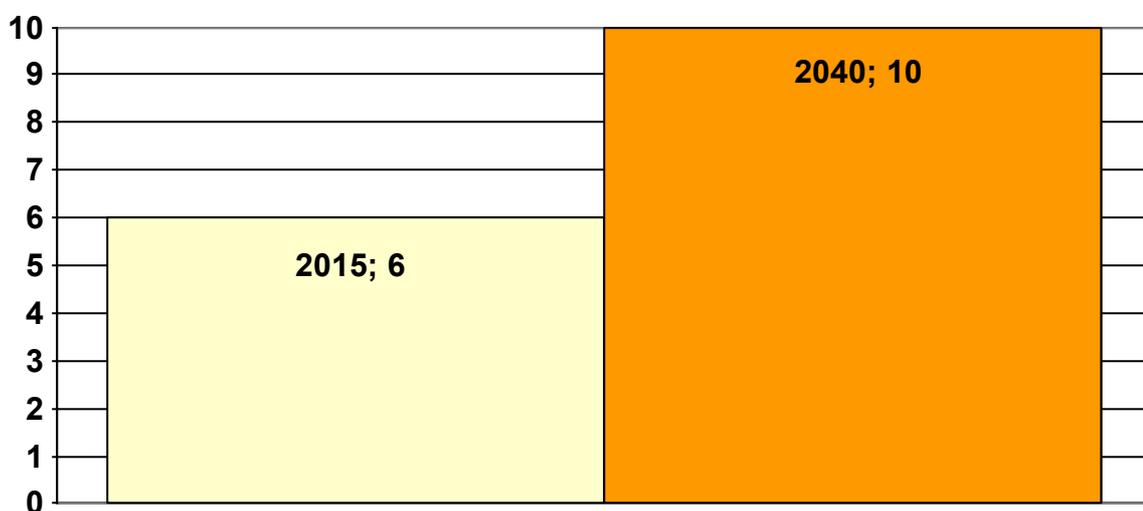


Рисунок 1.18. Прогноз изменения срока службы новых аккумуляторных батарей для электромобилей (категории N1, N2 и N3) и электробусов (категория M2 и M3) [171]

У производителей аккумуляторов и электромобилей важной задачей является сохранение контроля над аккумуляторами в процессе их эксплуата-

ции, для того чтобы извлечь из них как можно больше пользы, не увеличивая количество манипуляций с ними после окончания использования. Решением этой задачи считается аренда аккумулятора, которая уже положительно зарекомендовала себя на примере транспортных средств категории L, средств индивидуальной мобильности и даже электромобилей. Управление парком аккумуляторов имеет еще большее значение для профессиональных автопарков автобусов, такси и транспортных средств доставки, поскольку они эксплуатируются намного тяжелее, чем частные автомобили, и поэтому требуют более частой замены аккумуляторов.

Чем больше аккумуляторов находится под контролем одного собственника, тем легче будет контролировать режимы их использования для продления срока службы, управлять работоспособностью, принимать решения о перспективах повторного использования или утилизации. Управление собственниками большими парками аккумуляторных батарей открывает новые возможности для производителей аккумуляторных материалов, которые благодаря партнерству или вертикальной интеграции смогут получить гарантированные поставки сырья в будущем.

1.8. Объемы образования вторичных батарей

С 2010 года ежегодный объем использования литий-ионных аккумуляторов увеличился на 500 %. Например, в девяностых и начале 2000-х годов литий-ионные аккумуляторы использовались только лишь в бытовой электронике, то сейчас они используются для питания всевозможных устройств и мобильных машин, которые ранее не были электрофицированы – от садовой техники до речных и морских судов и самолетов. Разумеется самый высокий рост можно видеть в автомобильной промышленности, где достижения в области аккумуляторных технологий привели к быстрому внедрению электромобилей и электробусов. В 2018 году общее количество электромобилей в мире уже превысило 4 миллиона, а к 2025 году их доля на мировом рынке

может составить 20 процентов [163]. Помимо электромобилей, литий-ионные аккумуляторы все чаще применяются в других сферах, например, таких как резервное питание базовых телекоммуникационных станций и центров обработки данных, а также для питания складской техники, электрических скутеров, велосипедов, самокатов.

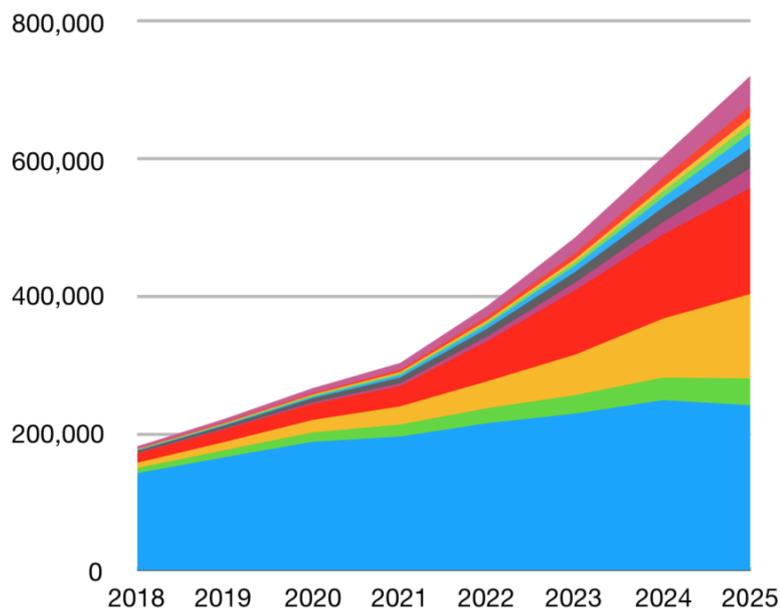
Рост использования литий-ионных аккумуляторов и их разновидностей, формирует все более острую потребность в решениях, позволяющих определить порядок обращения с ними по истечении срока службы. В отличие свинцово-кислотных или никель-кадмиевых аккумуляторов литий-ионные аккумуляторы не так токсичны, но при этом в их составе содержатся компоненты, которые не должны иметь возможности воздействовать на окружающую среду. Следует отметить, что имеется возможность восстановления материалов, использованных в аккумуляторах с их повторным использованием при производстве новых аккумуляторов. В связи с беспрецедентным ростом рынка спрос на первичное сырье значительно возрос, и переработанные материалы становятся важной составляющей, дающей положительный экологической и экономический эффект.

В отличие от одноразовых элементах питания, таких как щелочные и углеродно-цинковые батареи, предназначенными для использования в различных сферах, в первую очередь в бытовых, и являющихся расходниками, перезаряжаемые батареи рассчитаны на длительный срок службы. Однако даже перезаряжаемая батарея со временем деградирует, и в конечном итоге даже самые современные литий-ионные аккумуляторы независимо от химического состава перестают работать. В зависимости от химического состава, размера, конфигурации и назначения литий-ионный аккумулятор может выполнять от 500 до более чем 10000 циклов зарядки и разрядки. Это означает, что срок службы батареи, которая ежедневно используется профессиональным мастером в электроинструменте, может быть равен всего лишь нескольким месяцам, в то время как срок службы батареи, используемой в некоторых системах хранения энергии, может превышать 20 лет. Скорость деграда-

ции аккумуляторов в значительной степени зависит от сферы их применения. На сегодняшний день наибольшее количество аккумуляторов с истекшим сроком службы приходится на портативные аккумуляторы, используемые в бытовой электронике и электроинструментах. Это является следствием как их доминирующего положения на рынке, так и того факта, что они служат не так долго, как аккумуляторы, используемые в автомобилях или других промышленных установках.

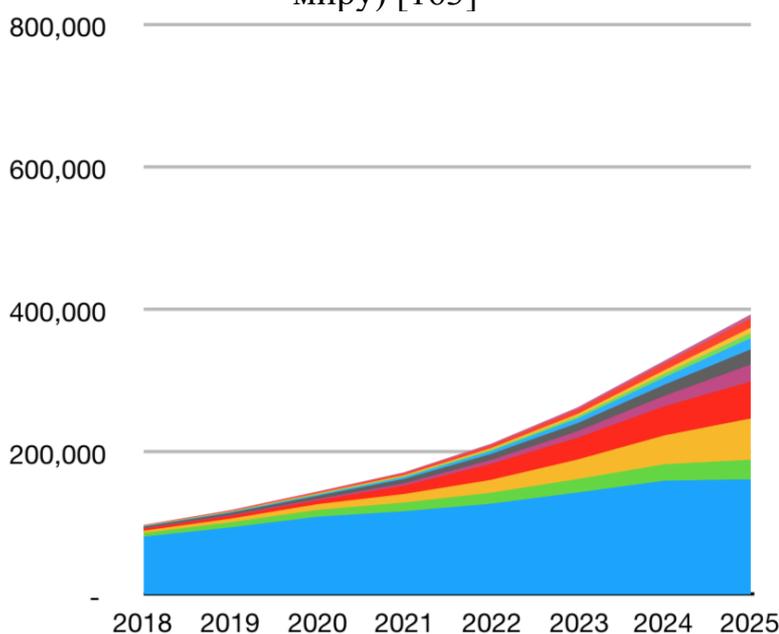
В связи с быстрым ростом других сегментов в ближайшие 10 лет ситуация изменится. Однако, из-за различных пользовательских характеристик аккумуляторов и их применения, количество аккумуляторов с истекшим сроком службы будет отличаться от того, что было представлено на рынке. Ожидается, что срок службы аккумуляторов в электромобилях будет намного больше, чем в электробусах, в первую очередь потому, что аккумуляторы в электроавтобусах заряжаются и разряжаются гораздо чаще. По аналогии с электробусами аккумуляторы электроскутеров, электровелосипедов, электросамокатов и складской техники, разряжаются быстрее, чем большинство автомобильных аккумуляторов. Несмотря на скромную суммарную емкость, они будут формировать объем выбытия батарей (в кВт·ч) эквивалентный половине того, что будут образовывать электромобили к 2025 году за счет большего количества и небольшого ресурса (рисунок 1.19).

Исчерпание срока службы аккумулятором, не означает, что он автоматически становится доступными для вторичной переработки. Практика обращения с аккумуляторами показывает что только около 50 процентов аккумуляторов, срок службы которых истек, попадают на предприятия по переработке во всем мире (рисунок 1.20). Причин для этого много, и частично они рассмотрены в пункте 1.7. Аккумуляторы хранятся в ожидании решения по их дальнейшей судьбы, их утилизируют (в том числе и с бытовым мусором), но не перерабатывают на компоненты, или они повторно используются в других целях.



■ Электроника ■ Электроинструмент ■ Электромобили ■ Электробусы ■ Прочее ■ Игрушки ■ Электросамокат
■ Промышленная автоматика ■ ИБП ■ Связь ■ Прочее ■ Игрушки ■ Электровелосипеды

Рисунок 1.19 – Динамика изменения объемов и структуры происхождения литий-ионных аккумуляторов с истекшим сроком службы (в тоннах по всему миру) [163]



■ Электроника ■ Электроинструмент ■ Электромобили ■ Электробусы ■ Прочее ■ Игрушки ■ Электросамокат
■ Промышленная автоматика ■ ИБП ■ Связь ■ Прочее ■ Игрушки ■ Электровелосипеды

Рисунок 1.20 – Динамика изменения объемов и структуры происхождения литий-ионных аккумуляторов доступных для вторичной переработки (в тоннах по всему миру) [163]

Последнее относится как к портативным, так и к промышленным аккумуляторам (аккумуляторам, которые устанавливаются в другое оборудование, включая транспортные средства, и которые нелегко переносить вруч-

ную). Литий-ионные аккумуляторы, которые использовались по первому назначению, часто оценивают на возможность их использования в других, менее требовательных задачах. Портативные аккумуляторы могут быть пересобраны в новые аккумуляторные батареи для блоков питания, игрушек или для средств индивидуальной мобильности. Аккумуляторы, ранее использовавшиеся в электромобилях используются в более широком спектре новых задач – от резервного питания до систем накопления энергии.

Достоверных данных, которые могли бы показать, сколько портативных аккумуляторов с истекшим сроком службы будет использовано повторно, нет. Очевидно, что значительное количество аккумуляторов, поступающих на предприятия по переработке электронных отходов и в ремонтные компании, будет, по крайней мере, оценено на предмет повторного использования.

Повторное использование аккумуляторов для электромобилей, или так называемая «вторая жизнь», учитывая их конструктивные особенности, во многих случаях становится нормой, когда аккумуляторы больше не подходят для использования в электромобиле. Наиболее важной причиной этого является то, что стоимость аккумуляторов, которые идут на повторное использование, намного выше, чем аккумуляторов, отправляемых на переработку.

Использование аккумуляторов с истекшим сроком службы для повторного использования приводит к задержке поступления батарей на переработку. По этой причине также потребуются много времени, прежде чем вторичная переработка окажет более значительное влияние на рынок сырья. Однако для некоторых элементов, таких как кобальт, переработка уже играет важную роль.

Аккумуляторы для электромобилей, стали доминирующим сегментом на литий-ионном рынке относительно недавно, но уже привлекают все больше внимания благодаря своему потенциалу использования в других областях. В Европе несколько производителей транспортных средств, в частности компании-первопроходцы на рынке электромобилей, устанавливают ис-

пользованные аккумуляторы в основном в различные системы накопления энергии, начиная от небольших бытовых систем и заканчивая более крупными контейнерными сетевыми решениями (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Формат повторного использования аккумулятора

№	Автопроизводитель	Инициатива производителя
Европейские производители		
1	BMW	Сетевые накопители энергии, подзаряжаемые от электромобилей
2	Рено	Подзарядка электромобилей, накопители энергии в жилых помещениях, сетевые накопители энергии
3	Volkswagen (Audi)	Накопители энергии C&I
4	Stellantis	Накопители энергии C&I
5	Volvo	Накопители энергии в жилых помещениях
6	Daimler	Сетевые накопители энергии, системы C&I
Производители из Китая		
7	BJEV	Резервное питание, подзарядка электромобилей
8	BYD	Резервное питание, сетевое накопление энергии
9	Changan	Резервное питание
10	SAIC	Резервное питание
11	Great Wall Motor	Резервное питание
12	Yin-Long	Резервное питание, накопители энергии C&I
Японские и корейские производители		
13	Тойота	Накопители энергии C&I, сетевые накопители энергии (NiMH)
14	Nissan	Модернизация, накопители энергии C&I, подзарядка электромобилей
15	Hyundai – KIA	Сетевое накопление энергии, C&I накопитель энергии
Производители из США		
16	General Motors	Восстановление
17	Tesla	Восстановление

Эти системы используются для различных служб, включая управление временными сдвигами (зарядка, когда энергия дешевая, и разрядка, когда она дорогая), частотную характеристику, резервное питание, реагирование на потребности и вспомогательные мощности. Аккумуляторы также используются

для накопления энергии в сочетании с зарядкой электромобилей, чтобы снизить нагрузку на сеть и снизить спрос в пиковые периоды. Аналогичные инициативы были объявлены в США [172].

В Китае новые правила требуют от компаний, производящих аккумуляторы и транспортные средства, организовать как переработку, так и оценку срока службы. В этих рамках крупнейшая телекоммуникационная инфраструктурная компания и несколько производителей аккумуляторов и автомобилей подписали соглашение об использовании вышедших из строя электромобильных батарей для замены свинцово-кислотных аккумуляторов в системах резервного копирования базовых станций [158].

Существует несколько различных стратегий, лежащих в основе повторного использования аккумуляторов. Например, некоторые производители сотрудничают с энергетическими компаниями, сторонними поставщиками и стартапами, которым продаются аккумуляторы для реализации их проектов. Вторая стратегия предполагает создание автопроизводителем специализированных энергетических компаний, использующих «свои» аккумуляторы в своей деятельности.

Зачастую батарея, демонтированная с электромобиля, используется как единый блок без вмешательства в ее конструкцию, то есть в виде «как есть». Как правило, такой подход используется в крупных системах накопления энергии, спроектированных специально для использования комплектных батарей. Вторым подходом предполагается разборку тяговых аккумуляторных батарей до уровня модулей с целью установки в «универсальные» системы, не привязанные к определенным форматам батарей, к тому же зачастую батарея требует анализа работоспособности модулей со вскрытием, чтобы гарантировать ее длительную работу по новому назначению.

Количество повторно используемых аккумуляторов, несмотря на продвижение этой идеи в разных странах, по-прежнему, очень мало. В первую очередь это связано с тем, что большинство аккумуляторов все еще служат по своему первому назначению в электромобилях и электробусах. В Европе

мощность установок резервного питания и накопителей энергии все еще не достигла 100 МВт·ч, при этом Северная Америка имеет значительное отставание даже от Европы и составляет всего 10 МВт·ч, неравномерно распределенных по территории различных штатов, лидером считается Калифорния, где уже с 2024 года стало возможно обеспечение энергопотребления только за счет возобновляемых источников, для которых как раз и нужны системы накопления [173]. Самый большой объем, как по установленной мощности, так и по прогнозируемым объемам на ближайшие годы, будет доступен в Китае, в первую очередь из-за большого количества аккумуляторов, устанавливаемых в электробусы с 2015 года. Эти аккумуляторы ежедневно подвергаются интенсивной эксплуатации, что приводит к тому, что срок их службы заканчивается гораздо раньше, чем у аккумуляторов, используемых в индивидуальных транспортных средствах. Таким образом, в 2018 году различные системы, использующие вторичные аккумуляторы в Китае имели мощность почти 1 ГВт·ч, большинство из них были установлены на базовых станциях в качестве резервного источника питания.

Не все производители автомобилей и особенно аккумуляторов считают идею повторного использования аккумуляторов для электромобилей или по альтернативному назначению рациональной, обосновывая это тем, что автомобиль может прослужить свыше 10 лет, как его батарея, однако, уже через несколько лет его аккумуляторная батарея перестанет быть конкурентоспособной по сравнению с новыми, более эффективными и дешевыми решениями, которые к тому времени будут доступны на рынке. Существуют также исследования, свидетельствующие о том, что износ многих аккумуляторов может привести к неэффективной работе, сбоям в работе, аварийным ситуациям, что делает их менее привлекательными. Из этих соображений ясно, что не все аккумуляторы, несмотря на то, что они не повреждены, будут продолжены использоваться по прежнему или новому назначению, а вместо этого будут утилизированы после истечения первого срока службы или по техническим причинам. Тем не менее, учитывая множество инициатив по разви-

тию возобновляемых источников энергии и целых предприятий, материальная база которых создана на основе бывших в употреблении аккумуляторных батарей как в Европе, так и в Азии, а также высокий спрос на аккумуляторы в целом вторичные батареи будут важным источником энергии для различных систем хранения энергии и стационарных аккумуляторов [174, 175].

В условиях активного роста рынка литий-ионных аккумуляторов прогнозируется, что объем повторного использования аккумуляторов будет определяться предложением батарей, а не спросом на них. Спрос, а также предложение и экономическая эффективность новых аккумуляторов будут определять стоимость. Сегодня вторичные аккумуляторы предлагаются на рынке по цене от 60 до 300 долларов за киловатт-час, в зависимости от предполагаемой области применения. Ожидается, что эти цены будут соответствовать динамике цен на рынке в целом и, по оценкам, достигнут 35...43 долларов за кВт·ч в 2030 году, главным образом в ответ на падение цен на новые аккумуляторы [174, 175]. Эта стоимость близка к сегодняшней стоимости материалов для изготовления аккумуляторов. Если такое снижение затрат будет достигнуто за счет замены материалов, в первую очередь кобальта, использованные аккумуляторы, которые все еще содержат кобальт, могут быть направлены на переработку, поскольку переработчики могут заплатить за них такую же или более высокую цену.

1.9. Модернизация транспортно-технологических машин как альтернатива ремонту или списанию

Модернизация транспортно-технологических машин путем замены агрегатов на принципиально отличающиеся от тех, что изначально были установлены на машине, воспринимается как что-то экзотическое и не серьезное, однако рациональное зерно в этой процедуре имеет место. Как указывалось в пунктах 1.5 и 1.6, тренд на электрификацию транспортно-технологических машин наблюдается во многих странах, но основной идеей этого процесса

является снижение негативного влияния на окружающую среду, снижение эксплуатационных затрат, упрощение управления машиной. Инициаторами этого процесса становятся предприятия-производители, желая расширить модельную линейку техники, предлагаемой клиентам. Однако, зачастую инициация таких разработок – лишь создание видимости заботы об окружающей среде, поскольку рыночный успех электрифицированных транспортно-технологических машин в отличие от автомобилей не гарантирован. При этом во всех странах есть фирмы, которые проводят модернизацию техники, называемую также «ремоторизацией» по желанию клиента, если это не противоречит национальному законодательству, но до сих пор «ремоторизация» массово нигде в мире не производилась. Причиной этого факта является скептицизм собственников машин и конкуренция с новой техникой, в том числе электрифицированной в условиях заводов-производителей.

Для России предпосылки для начала модернизации транспортно-технологических машин весьма убедительны. Считается, что существующий машинно-тракторный парк в полной мере позволяет осуществлять сезонные полевые работы в установленные агротехнологические сроки, так как в распоряжении сельскохозяйственных предприятий находится 566,7 тыс. ед. тракторов и комбайнов. В 2023 году было приобретено 46,3 тыс. ед. техники, из них 11 тыс. ед. тракторов, что выше уровня 2022 года на 10,4%. Энергообеспеченность сельскохозяйственных предприятий выросла с 148,6 л.с. на 100 га, зафиксированных в 2018 году, до 156,3 л.с. на 100 га в 2023 году за счет приобретения современных моделей энергонасыщенной техники [176].

Однако такие данные не говорят полной обеспеченностью техникой, так как дефицит парка техники по комбайнам, по мнению специалистов «Ростсельмаша», составляет около 37 тыс. единиц, по тракторам – около 64,5 тысяч единиц. Возможности приобретения новой техники у агропредприятий значительно сократились в связи с ростом экспортной пошлины, низких цен на зерно, сокращением размера государственной поддержки по программе 1432, повышением утилизационного сбора и роста ставки.

На фоне потери части урожая из-за заморозков и засухи в 2024 году агропредприятия отказываются от обновления парка, имеет место даже разрыв ранее заключенных контрактов на поставку новой техники. Если в конце 2023 года участники рынка прогнозировали снижение продаж в 2024 году на 10 %, то в середине года оценки падения увеличились до 40 %. Упали даже продажи подержанной техники – на 17,1 % комбайны и на 23,1 % тракторы. Причина – падающая рентабельность агропредприятий и рост цен на технику. Российская техника подорожала на 35...40% только в 2022 году, а иностранная еще больше. Продажи отечественных машин растут на 9...10 %, если анализировать этот параметр через выручку, однако он же, выраженный в количестве проданной новой техники, показывает снижение на 5...40 %, в зависимости от типа машин, что говорит о росте цен [176].

Самоходную технику убрали из программы 1432, лишив скидки в 10...15 %, а также начались проблемы с поставкой импортных комплектующих, как на заводы, так и на вторичный рынок в качестве запасных частей.

При этом в России требует обновления примерно половина парка сельскохозяйственной техники. Заменить надо почти 100000 единиц самоходных транспортно-технологических машин, однако в самом востребованном сегменте – тракторах мощностью 150-280 л.с. почти нет отечественного производства, также мало представлены отечественные телескопические погрузчики, машины для садоводства, свеклоуборочных комбайны и т.п. Единственный способ нивелирования этого дефицита – импорт из «дружественных стран».

Из-за дефицита техники и старения машинно-тракторного парка активно растёт рынок ремонта и восстановления подержанной техники, зачастую с воссозданием простых компонентов по чертежам или прямо с натуры. Но для производства более сложных деталей, агрегатов и узлов нет ни оборудования, ни специалистов. Поставки запчастей к импортной технике становятся труднее, а каждый новый пакет санкций от США и ЕС обещает ещё больше контроля за поставками подсанкционных да и всех прочих товаров через тре-

тьи страны.

У крупных агрохолдингов еще есть запас прочности, а вот у небольших агропредприятий его уже нет, и они постепенно начали готовить технику под списание и разбор на запчасти, как это уже было в 90-х годах 20 века.

Как раз альтернативой списанию машин может стать их модернизация, путем замены в первую очередь двигателя и агрегатов трансмиссии, как раз и определяющих работоспособность транспортно-технологической машины на комплект электродвигателя и тяговой батареей. Это кажется необычным и не осуществимым, но это не так. Модернизирована может быть любая транспортно-технологическая машина, однако экономически целесообразным этот процесс будет только при наличии готовых комплектующих, подходящих по характеристикам модернизируемой машине, желательно еще и подержанных, чтобы минимизировать единовременные затраты.

Логика в такой модернизации заменой тоже есть, силовой агрегат с двигателем внутреннего сгорания состоит примерно из двух тысяч движущихся частей, в электродвигателе движущиеся элементы тоже имеются в наличии, но их всего около 20, что потенциально делает электродвигатель более надежным и меньше подверженным износу. Однако, процессы производства электромобильных комплектующих сложнее и требуют больших трудозатрат при производстве [178] (рисунок 1.21). При этом ресурс ДВС до капитального ремонта (при его возможности) или списания варьируется от 200000 до 500000 км, а ресурс современного безщеточного электродвигателя аналогичной мощности превышает 1000000 километров. Основное ограничение электрифицированных транспортных и транспортно-технологических машин будет заключаться в возможностях и ресурсах тяговой аккумуляторной батареи.

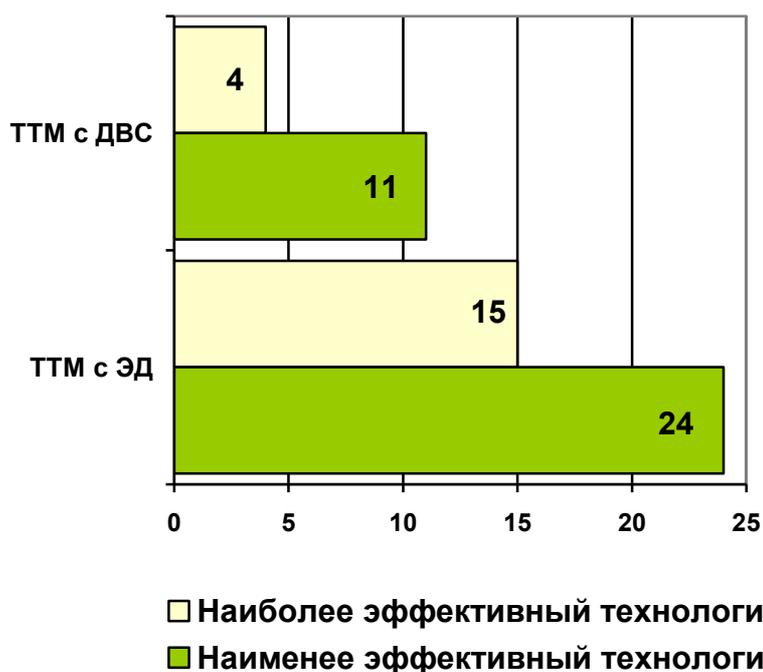


Рисунок 1.21 – Трудоемкость производства силовых агрегатов для транспортных и транспортно-технологических машин в вариантах с ДВС и с электродвигателем и тяговой аккумуляторной батареей, чел. час [178]

Себестоимость модернизации транспортно-технологической машины существенным образом зависит от затрат на приобретение тяговой аккумуляторной батареи и электродвигателя с контроллером и инвертором. Например, в себестоимости нового электромобиля их доля составляет в среднем более 50 % в том числе батарея – 37 % (рисунок 1.22) [179], например у Tesla Model 3 доля батареи в цене электромобиля 26,5 %, BMW i3 – 45 %, Renault Zoe – 52 %, BYD Seal – 19,8 %, Volkswagen ID.3 – 25,4 %.

При этом к моменту списания тяговой батареи, ее остаточная стоимость составляет около 20 процентов от цены новой (таблица 1.2) [180], что выглядит привлекательным для потенциального покупателя, планирующего дальнейшее ее использование.

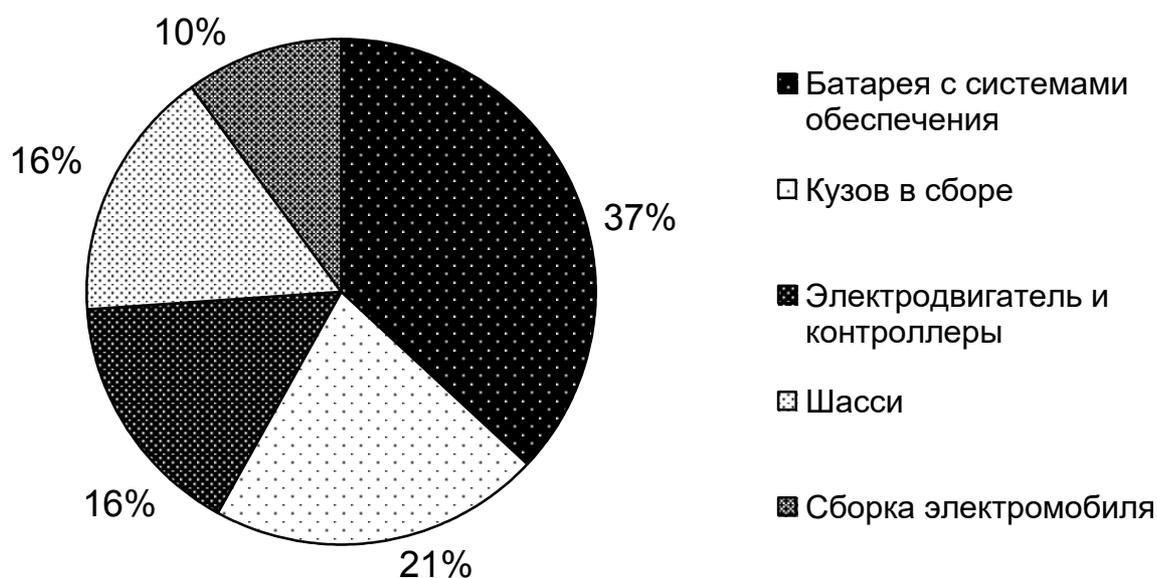


Рисунок 1.22 – Структура стоимости нового электромобиля, %

Таблица 1.2 Сравнительные характеристики новых и вышедших из эксплуатации тяговых аккумуляторных батарей [180]

Модель электромобиля	Стоимость новой тяговой батареи, руб	Емкость новой тяговой батареи, кВт·ч	Стоимость выведенной из эксплуатации тяговой батареи, руб	Остаточная емкость тяговой батареи, кВт·ч
BMW i3	1447000	42,2	289400	33,8
Tesla Model 3	1193200	54	238600	43,2
Renault Zoe	1236500	44,1	248600	35,3

Компонентная база, необходимая для модернизации транспортно-технологических машин в нашей стране усилиями большого количества частных предприятий начала расширяться, если бы вопрос о модернизации был поднят в 2020 году, то предложить отечественная промышленность в лучшем случае могла бы только корпус для тяговой батареи, как это можно было увидеть на примере электромобиля Лада Эллада. А комплект к установке на модернизируемую машину формировался бы только из иностранных новых или подержанных элементов.

В настоящее время в России освоено (или заявлено что освоено) производство синхронных электродвигателей и редукторов (правда с ограниченным типоразмером и иностранными деталями), аккумуляторных батарей (ча-

стично с использованием иностранных ячеек), систем управления батареей, инверторов, бортовых зарядных устройств, приборных панелей (по большей части на иностранной элементной базе [181, 182, 183]. Сдерживает развитие отсутствие производства постоянных магнитов, высокоскоростных подшипников, датчиков, соединителей и, что совсем неожиданно, изоляционной бумаги, герметиков для электрического оборудования, сальников, пропиточных материалов, смазки и даже обвязочной нитки.

1.10. Выводы по первой главе. Цель и задачи работы

По мнению большинства экспертов, а также аналитиков крупных банков спрос на электромобили в Российской Федерации в 2024 году должен вырасти на 63 %. Предполагается, что граждане России приобретут около 40 тыс. таких машин, что станет рекордом для российского рынка. Толчком для продаж станет двукратное увеличение сети и количества регионов с «быстрыми» зарядками. При этом будет происходить активное замещение на рынке подержанных автомобилей, ввоз которых затруднен разнообразными санкциями, новыми электромобилями, в 2024 году в основном происходящим из Китая, а в перспективе российскими разработками, выход на рынок большинства из которых намечен на 2025 и 2026 годы. При этом, параллельно будет происходить увеличение количества списываемых электромобилей по истечении их срока службы или по причине нецелесообразности поддержания работоспособности.

Еще одним фактором, способствующим росту количества списаний электромобилей становится высокая сложность их электроники. Уже сейчас в развитых странах до трети машин после ДТП отправляется на утилизацию: системы ADAS слишком дорого восстанавливать. По данным иностранных страховых и консалтинговых компаний в настоящее время уже 21 % машин списывается после ДТП [184]. В конце прошлого века таких исходов было только около 4 %, а прогнозируемый рост на ближайшее десятилетие – до

30%. Главная причина невозможности полноценного восстановления современных автомобилей – системы ADAS (Advanced Driving Assistance Systems). Они сохраняют жизни, но дорогое оборудование делает ремонт нецелесообразным.

Например, в США восстановление электромобиля обходится собственнику в среднем на 20 % дороже чем обычного автомобиля с ДВС, а в Канаде эта разница еще больше, доходя до 31 %. По статистике средняя стоимость ремонта обычного автомобиля в США – 4806 долларов, а электромобиля – 5753 доллара, похожие значения стоимости восстановления в Канаде – 4958 и 6534 доллара соответственно.

Технологичные бренды стараются не оставлять в эксплуатации свои электромобили и гибридные автомобили, восстановленные после ДТП, мотивируя это заботой о безопасности эксплуатации поврежденного транспортного средства. В Китае клиентам предлагают сдать поврежденный автомобиль и купить новый с солидной скидкой, таким образом обеспечив постоянный спрос на новые автомобили и направив списанные на официальную утилизацию.

Таким образом, в ближайшие 20 лет в мире прогнозируют списание почти 40 миллионов электромобилей, а вместе с ними и литиевых аккумуляторов. Для нашей страны этот тренд станет заметным именно на рубеже 2025 и 2026 года, когда, количество списываемых батарей начнет расти заметными темпами.

Параллельно этим процессам в России и многих других странах, испытывающих экономические затруднения происходит активное старение парка автомобилей и транспортно-технологических машин, которое делает невозможным их эффективную коммерческую эксплуатацию. При этом поддержание работоспособности становится очень дорогим из-за наличия в конструкции машин значительного количества иностранных комплектующих или даже невозможным из-за отсутствия конструктивной предрасположенности к восстановительному ремонту, санкционному давлению и невозможности за-

купок, а также исчерпанию запасов вторичных агрегатов и узлов после завершения выпуска машин.

В такой ситуации необходим поиск эффективных решений, способных продлить коммерчески эффективную эксплуатацию машины при дороговизне, дефиците или полном отсутствии штатных запасных частей.

Рынок литий-ионных аккумуляторов с истекшим сроком службы уже демонстрирует некоторые четкие закономерности, хотя при этом он все еще считается молодым и перспективным, и на нем есть место инновациям и изменениям, а вот рынок услуг, связанных с модернизацией транспортно-технологических машин или автомобилей вообще является новым, открытым к любым идеям и инновациям. Потенциал рынка литий-ионных аккумуляторов с истекшим сроком службы связан с различными циклическими моделями, описывающими подходы к использованию аккумуляторов, которые могут претерпевать изменения, позволяя сокращать количество образующихся отходов и затрат, необходимых для обращения с ними. На этапе эксплуатации техники для получения данных о состоянии ячеек аккумуляторов все чаще используются интеллектуальные системы управления аккумуляторами, а для уменьшения трудоемкости разборки применяется модульная конструкция аккумуляторов. Однако для сокращения уровня образования отходов и более полного использования потенциала как выбывающих из эксплуатации транспортно-технологических машин, так и отдельно их агрегатов и узлов многое еще предстоит сделать, и улучшения, которые могут быть предложены и внедрены внедряются сейчас, будут иметь больший эффект только через пять-десять лет.

Перед производителями автомобилей и аккумуляторов стоит задача сохранить контроль над аккумуляторами, чтобы извлечь из них как можно больше пользы, не увеличивая количество манипуляций с ними после окончания использования. Решением этой задачи считается аренда аккумулятора, которая уже положительно зарекомендовала себя на примере транспортных средств категории L, средств индивидуальной мобильности и даже электро-

мобилей. Управление парком аккумуляторов имеет еще большее значение для автопарков, эксплуатирующих автобусы, такси, автомобили краткосрочной аренды, средства доставки, специализированную технику и складской транспорт, поскольку они эксплуатируются намного тяжелее, чем частные автомобили, и поэтому требуют более частой замены аккумуляторов.

Чем больше аккумуляторов находится под контролем одного собственника, тем легче будет контролировать режимы их использования для продления срока службы, управлять работоспособностью, принимать решения о перспективах повторного использования или утилизации. Управление собственниками большими парками аккумуляторных батарей открывает новые возможности для производителей аккумуляторных материалов, которые благодаря партнерству или вертикальной интеграции смогут получить гарантированные поставки сырья в будущем.

В настоящее время существует много технологий для переработки аккумуляторов или переработки их компонентов и составных элементов в новые продукты, но не достаточно проработанной остается процедура их повторного применения, как в сборе, так и поэлементно особенно в составе транспортных и транспортно-технологических машин. Не проработан вопрос организации эффективной разборки как корпусов, так и элементов для повторного использования или утилизации, не определены подходы к составу и оснащению производственно-технической базы специализированных сервисных предприятий в функции которых должны будут входить все аспекты технической эксплуатации электрифицированных транспортно-технологических машин и электромобилей.

Основываясь на выше сказанном, была сформулирована цель и задачи, которые необходимо решить в исследовании. **Целью исследования** является технологическое обеспечение модернизации серийно производящихся и снятых с производства транспортных и транспортно-технологических машин за счет установки электропривода с использованием вторичных агрегатов и узлов электромобилей.

Для реализации поставленной цели в работе были поставлены следующие задачи:

1. разработать алгоритмы, определяющие порядок организации технологического обеспечения работы с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами с учетом оснащенности специализированных сервисных предприятий и обеспеченности кадровыми ресурсами;
2. определить критерии оптимальности и разработать комплекс математических моделей определения параметров модернизируемой транспортно-технологической машины;
3. определить критерии оптимальности и разработать комплекс математических моделей определения основных характеристик производственно-технической базы предприятий, осуществляющих работу с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами и тяговыми аккумуляторными батареями для получения на их основе новой продукции, с учетом вероятностного характера производственных процессов и вариации фактического состояния батарей;
4. провести моделирование и оптимизацию технологических процессов, связанных с разборкой тяговых аккумуляторных батарей электромобилей;
5. разработать технических средства для выполнения технологических процессов, связанных с разборкой тяговых аккумуляторных батарей электромобилей, а также для обучения персонала;
6. разработать технологические схемы работы с тяговыми аккумуляторными батареями и оценить влияние конструкции тяговых аккумуляторных батарей выбывших из эксплуатации электромобилей на возможность их повторного использования целиком или по отдельным элементам;

7. проанализировать потенциал повторного использования полнокомплектных тяговых батарей электромобилей и их отдельных элементов в составе новых устройств;
8. оценить эффективность модернизации транспортно-технологических машин и повторного использования тяговых аккумуляторных батарей электромобилей по основному назначению и отдельных компонентов по альтернативному, включая как вторичное сырьё.

Глава 2. Теоретические основы технологического обеспечения модернизации транспортных и транспортно-технологических машин

2.1. Значение модернизации для сферы производства и эксплуатации транспортно-технологических машин

Транспортные и транспортно-технологические машины являются основой производственных процессов производства и переработки сельскохозяйственной продукции, так как задействованы на всех этапах производства сельскохозяйственной продукции в растениеводстве и животноводстве. От них зависит как непосредственно полевые работы, так и все вспомогательные, начиная от доставки посевного материала и удобрений и завершая вывозом урожая с полей. Таким образом, от технического совершенства транспортных и транспортно-технологических машины зависит эффективность деятельности всех без исключения предприятий агропромышленного комплекса. В связи с этим транспортные и транспортно-технологические машины должны соответствовать запросам передовых инновационных технологий производства сельскохозяйственной продукции, то есть отвечать требованиям современных агротехнологий, экологичности и эффективности выполнения технологических операций.

Модернизация транспортно-технологических машин, предназначенных для использования как в агропромышленном комплексе, так и на промышленных и транспортных предприятиях может включать множество различных аспектов каждый из которых представляет собой тему для углубленного рассмотрения. Рассмотрение процесса модернизации и определение его значимости можно вести двумя направлениями. В первом случае акцент смещается непосредственно на процесс модернизации и его технологическое обеспечение, а во втором случае пристально рассматриваем саму модернизируемую машину и результаты, которые можно будет достичь, используя ее на практике.

Модернизация транспортно-технологических машин во первых может стать основой внедрения технологических инноваций как в производственный процесс, так и в конструкцию самих машин. Например, при производстве транспортно-технологических машин перспективными направлениями являются автоматиза-

ция процессов (внедрение роботов для сборки, сварки и покраски), внедрение в процесс производства аддитивных технологий для создания прототипов и мелких деталей, внедрение технологии «интернет вещей (IoT)» с установкой сенсоров для мониторинга состояния оборудования в реальном времени, применение искусственного интеллекта для оптимизации производственных процессов и предсказания отказов и неисправностей.

Модернизация транспортно-технологических машин в настоящее время должна предлагать экологические решения, которые должны включать разработку и производство электромобилей, гибридных или водородных транспортно-технологических машин, использование перерабатываемых и биоразлагаемых материалов, внедрение программ по повторному использованию, восстановлению и переработке старых автомобилей, транспортно-технологических машин и их компонентов.

Современное производство, реализующее на практике технологические процессы модернизации транспортно-технологических машин обязательно должно реализовывать программы повышения качества, включающие внедрение автоматизированных систем для проверки качества на всех этапах производства, а также так называемое Lean-производство – предполагающее оптимизацию процессов для снижения потерь и повышения эффективности. Кроме программ повышения качества при реализации программ модернизации транспортно-технологических машин следует учитывать методы управления ресурсами, которые, во-первых, предполагают оптимизацию цепочек поставок материалов и компонентов за счет использования современных технологий для управления запасами и логистики, во-вторых, более широкое использование модульных конструкций и модульной архитектуры для упрощения сборки и ремонта транспортно-технологических машин, в третьих, технологические процессы модернизации должны строиться на основе устойчивого управления ресурсами, то есть за счет внедрения практик для снижения потребления энергии и воды в том числе благодаря вторичному использованию компонентов, что позволяет сократить потребление первичных ресурсов.

Дополнительными аспектами, которые принимаются во внимание следует считать цифровизацию производственных процессов и самих транспортно-технологических машин, обеспечение безопасности производственного процесса и персонала предприятий, привлечение молодых специалистов, обеспечение повышения квалификации или переподготовки персонала производственных и сервисных предприятий, которым предстоит производить или обслуживать модернизированные транспортно-технологические машины.

Немного в стороне от технологических процессов модернизации транспортно-технологических машин, но при этом имеющих существенное влияние на них находятся процессы маркетинга и сбыта. Модернизированные транспортно-технологические машины не могут являться серийным продуктом поэтому потребителя такой техники надо не только искать, проводя различные исследования и выполняя анализ данных о клиентах на основе использования больших данных для понимания потребительских трендов, но и фактически возвращать посредством реализации цифровой маркетинговой стратегии, основанной на использовании социальных сетей и онлайн-платформ для продвижения продукции, в том числе и на заказ с учетом индивидуальных предпочтений клиентов.

Модернизация транспортно-технологических машин может стать основой развития предприятий ее реализующих благодаря инвестициям в инновационные компании и стартапы для внедрения новых технологий, совместным проектам с университетами по исследованию и разработке новых технологий, объединению усилий с другими производителями для разработки новых платформ и технологий.

При оценке эксплуатационных свойств непосредственно самих транспортно-технологических машин при помощи модернизации можно добиться значительного повышения их эффективности, производительности и удобства эксплуатации за счет:

- увеличения мощности и производительности;
- улучшения технологий управления;
- повышения энергоэффективности;

- увеличения универсальности;
- улучшения комфорта и безопасности оператора;
- повышения надежности и долговечности;
- автоматизации и цифровизации;
- улучшения экологических характеристик.

Модернизация транспортных и транспортно-технологических машин может значительно повысить их эффективность, производительность и устойчивость к внешним факторам за счет следующих инновационных решений:

- увеличение мощности и производительности может быть реализовано путем установки более мощного двигателя при замене старого, установленного на машине, двигателя на современный, в том числе и электрический, более мощный и экономичный, а также установки автоматической или бесступенчатой трансмиссии для повышения эффективности работы или упрощенной трансмиссии, работающей в паре с электродвигателем;
- улучшения технологий управления достигается внедрением навигационных систем для точного ведения сельскохозяйственных работ, установкой систем автоматического управления для повышения точности и снижения нагрузки на оператора, внедрением интеллектуальных системы мониторинга, основанных на использование датчиков для отслеживания состояния машин и оптимизации процессов;
- повышения энергоэффективности машины достигается внедрением электрических или гибридных двигателей, отвечающих не только за движение машины, но и за работу ее исполнительных механизмов и бортового технологического оборудования, установкой рекуперационного оборудования для накопления и повторного использования энергии, что благоприятно скажется на снижении расхода топлива и достижении целей декарбонизации, благодаря снижению выбросов CO₂;
- увеличения универсальности достигается за счет создания модульных конструкций, определяющих многофункциональность машин, с расширением возможности выполнять различные агротехнологические задачи или вариатив-

ность полезной нагрузки базового шасси за счет разработку и внедрения новых сменных навесных агрегатов для расширения функциональности и эффективности использования шасси;

- улучшения комфорта и безопасности оператора достигается оптимизацией рабочего места для повышения удобства управления машиной и снижения усталости;
- повышения надежности и долговечности достигается заменой устаревших агрегатов и узлов на современные, построенные из более прочных и легких материалов, а также внедрением систем мониторинга состояния машин для предсказания необходимости обслуживания, что становится возможным при использовании современных агрегатов и узлов;
- повышение уровня автоматизации машин и цифровизация процессов эксплуатации машины достигается использованием роботизированных систем для выполнения рутинных технологических операций, а также внедрением программного обеспечения для анализа данных о производительности машины и оперативного планирования работ в зависимости от зафиксированных изменившихся факторов;
- улучшение экологических характеристик достигается модернизацией машин позволяющей выполнять агротехнологические операции при минимальной обработке почвы а также установкой оборудования для снижения выбросов или использования альтернативных источников энергии.

2.2. Задачи технологического обеспечения модернизации транспортных и транспортно-технологических машин

Как указано в ГОСТ Р 50995.0.1-96 [185] технологическое обеспечение создания какой-либо продукции является организационно-технической системой, обеспечивающей организационное, информационное и техническое единство технологических работ, выполняемых на стадиях разработки и производства продукции, на основе представления конструкции и технологии получения продукции как совокупности единых конструкторско-технологических решений. В свою оче-

редь, конструкционно-технологическое решение является реализованным на производстве комплексным инженерным решением по перспективной продукции в целом и прогрессивному методу ее реализации на производстве.

Технологическое обеспечение модернизации транспортно-технологической машины предполагает создание организационно-методической основы, необходимой для подготовки проекта модернизации выбранной для этого транспортно-технологической машины, формулирования требований к производственной площадке, в условиях которой будет возможно реализовать на практике технологический процесс модернизации с требуемым уровнем качества, надежности приемлемой стоимости в условиях вариации прототипа модернизируемой машины, вариации требований клиента-заказчика и вариации компонентной базы, доступной для использования в процессе модернизации.

Основными задачами технологического обеспечения в соответствии с ГОСТ Р 50995.0.1-96 [185] являются:

- технологическое обоснование возможности модернизации транспортно-технологической машины и выполнения этого процесса в условиях специализированного сервисного предприятия;
- обеспечение технологической реализации модернизации транспортно-технологической машины в условиях специализированного сервисного предприятия на стадии проектирования;
- отработка технологии модернизации транспортно-технологической машины до начала реализации этого процесса в реальных производственных условиях специализированного сервисного предприятия;
- материально-техническое и информационное обеспечение модернизации транспортно-технологической машины реальных производственных условиях специализированного сервисного предприятия;
- обеспечение технологического процесса модернизации транспортно-технологической машины производственными и испытательными мощностями, обеспечивающими требуемый уровень производительности при соответствующем уровне качества готовой продукции;

- обеспечение технологической поддержки производства в соответствии с требованиями заказчика или будущего эксплуатанта модернизированной транспортно-технологической машины;
- обеспечение стабильности технологии модернизации транспортно-технологической машины для тиражирования опыта или конструктивных решений;
- обеспечение требований сертификации системы качества продукции и производства в части применяемых технологий.

Модернизация транспортно-технологической машины начинается с разработки алгоритма, используя который для каждого возможного варианта модернизации (сочетания базовой транспортно-технологической машины и доступных для использования агрегатов и узлов, существенно меняющих эксплуатационные свойства машины) по критериям минимизации затрат формируют несколько альтернативных конструкторско-технологических вариантов, реализующих желаемые функциональные характеристики модернизированной машины, из которых выбирают конструкторско-технологические решения, предполагающие оптимальные затраты при обеспечении требуемого уровня качества и надежности в предполагаемых условиях производственных площадок.

2.3. Предпроектные исследования технологического обеспечения модернизации транспортно-технологических машин

Любая проектная деятельность, а тем более такая сложная и комплексная как модернизация транспортно-технологических машин требует четкого обоснования, так как требует определенных инвестиций в организацию с естественным желанием инвестора не только вернуть, но и приумножить вложенные средства. Если инвестором является собственник подлежащей модернизации транспортно-технологической машины, то его инвестиции должны привести если не к прямому повышению капитализации, то хотя бы к заметному снижению эксплуатационных расходов, позволяющему утверждать, что проделанные мероприятия были успешными.

В связи с этим перед началом любых действий по организации технологического обеспечения модернизации необходимо провести следующие мероприятия и собрать определенные сведения. Сбор данных может быть выполнен самим инициатором модернизации как на уровне машинно-тракторного парка отдельного предприятия, эксплуатирующего транспортно-технологических машины. Другим инициатором может стать специализированное сервисное предприятие, желающее диверсифицировать набор предлагаемых клиентам услуг, расширив его от планового технического обслуживания и текущего ремонта до предложения собственной оригинальной продукции, построенной на той же компонентной базе, которая используется при ремонте или обслуживании машин. В таком случае данные могут быть собраны на различных уровнях в зависимости от масштаба деятельности предприятия-инициатора. Для предпроектных исследований нами разработана многоэтапная схема (рисунок 2.1), она включает два укрупненных блока, сначала проводятся технико-экономические изыскания, а при их успешности проводятся конструктивно-технологические работы.

Технико-экономические изыскания включают:

- анализ текущего состояния парка сельскохозяйственной техники, подразумевающий сбор данных о количестве, типах и возрасте имеющихся в регионе или на предприятии машин (в зависимости от масштаба исследования), их техническом состоянии, степени износа;
- оценку производственных потребностей предприятия или всех предприятий региона, выполняя которую необходимо определить объемы производства сельскохозяйственной продукции, потребности в машинах для выполнения различных технологических операций с анализом эффективности использования существующей техники;
- исследование рынка сельскохозяйственной техники в рамках которого необходимо собрать сведения о новых моделях машин, включая их характеристики, стоимость и доступность на рынке.

- проведение технико-экономического анализа, включающего оценку экономической целесообразности модернизации техники с расчетом затрат на модернизацию и потенциальной экономии от ее проведения.



Рисунок 2.1 – Схема предпроектных исследований

В случае положительных результатов технико-экономических изысканий инициатор модернизации техники пойдет переходить к практическим аспектам этой деятельности, также включающей несколько этапов (рисунок 2.2):

- разработку плана модернизации транспортно-технологической машины в рамках которого определяются конкретные меры, направленные на модернизацию техники, устанавливаются сроки реализации проекта и ответственные лица, что бывает важно если у инициатора модернизации машины имеется заказчик, устанавливающий сроки, либо конъюнктура рынка изменчива и необходимо улавливать и предвосхищать ее изменения;
- подготовку проектной документации, включающей разработку технического задания на модернизацию, подготовку чертежей, спецификацию агрегатов и узлов (в том числе и бывших в употреблении), требования к технологическому оборудованию и персоналу;
- согласование проекта с заинтересованными сторонами, например с руководством предприятия предполагающего реализацию технологических процессов модернизации, с соответствующими государственными органами (при необходимости получения разрешения на внесение изменений в конструкцию);
- реализацию проекта, включая адаптацию производственно-технической базы предприятия для осуществления технологического процесса модернизации, закупку нового оборудования, обучение персонала и непосредственно модернизацию транспортно-технологической машины;
- контроль качества и оценку результатов, включающих проверку соответствия выполненных работ требованиям проекта, обеспеченности технологического процесса модернизации технологическим оборудованием, необходимыми агрегатами и узлами, включая повторно используемые, а также оценку достигнутых результатов.

Отдельно можно выделить подготовку сервисно-эксплуатационной документации для клиента-заказчика, включающей описание модернизированной транспортно-технологической машины, правила ее эксплуатации, требования безопасности, описание принятой системы технического обслуживания и ремонта с указанием режимов технической эксплуатации, спецификацию запасных частей и принадлежностей, применяемые эксплуатационные материалы.

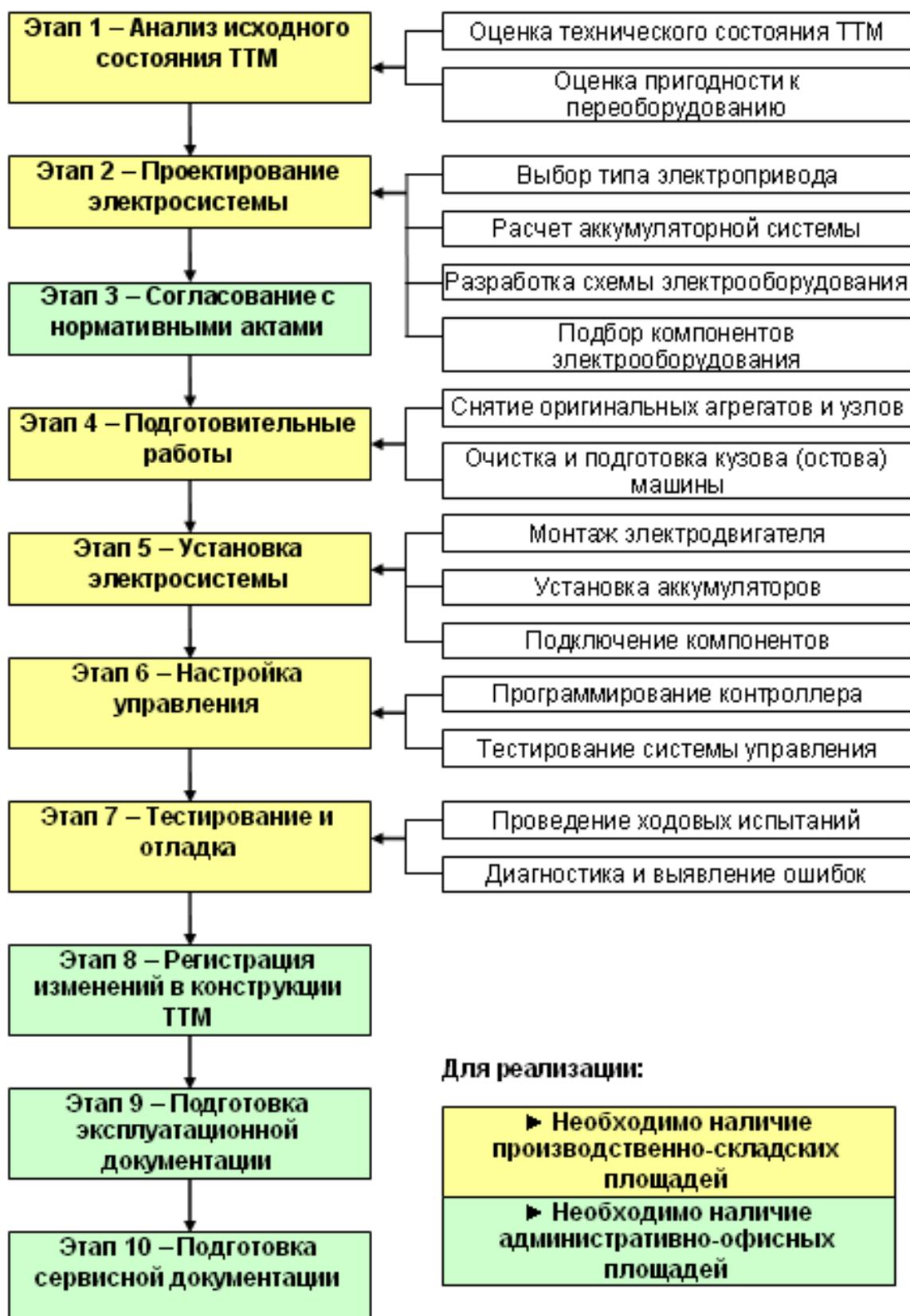


Рисунок 2.2 – Основные этапы и содержание технологического обеспечения технологического процесса модернизации транспортно-технологической машины в условиях специализированного сервисного предприятия

2.4. Обзор примеров коммерческих проектов модернизации автомобилей путем установки электропривода и тяговой аккумуляторной батареи

Идея перевода серийных транспортных средств на электрическую тягу совершенно не нова, но каждая практическая реализация воспринимается как уникальное событие таким совершенно не являясь. Если анализировать отечественный опыт, то в 1976 году на базе универсала модели ВАЗ-2102 (рисунок 2.3) был разработан трехдверный опытный развозной фургон, который в начале восьмидесятых даже выпустили партией в 47 автомобилей. Автомобиль был оснащен электромотором 25 кВт и никель-цинковыми аккумуляторами, имел грузоподъемность 320 кг и запас хода 130 км [186, 187, 190, 191]. Примерно в то же время, в начале восьмидесятых, УАЗ совместно с НПП «Квант» спроектировали также развозной фургон УАЗ-3801, оснащенный асинхронным двигателем мощностью 15 кВт, свинцово-кислотными аккумуляторами и с запасом хода от 50 до 80 км (рисунок 2.3) [186, 188, 190, 191]. Объем выпуска этих автомобилей составил 65 экземпляров, выпущенных в период с 1980 по 1985 год [186, 188].



Рисунок 2.3 – Электромобили УАЗ-3801 и ВАЗ 2801

Из более поздних примеров можно упомянуть проект 2012 года, когда универсал ВАЗ-1119 «Калина» посредством установки асинхронного электромотора MES DEA мощностью 60 кВт и литий-железо-фосфатной батареи емкостью 23 кВт·ч был преобразован в электромобиль «Лада Эллада», имеющий запас хода около 140 км и выпущенный партией около 118 единиц [189]. Компоновочная

схема, отработанная на Ладе Элладе, послужила основой для электрической Лады Весты и электрического Лады Ларгуса, однако эти проекты вплоть до 2024 года не получили реального воплощения. В начале 20-х годов 21 века ближе всего к серийному производству оказался стартап EVM Pro, который модернизировал бортовой грузовик УАЗ Профи, установив 80 кВт электродвигатель и литий-железо-фосфатную батарею емкостью 90 кВт·ч, позволяющую получить запас хода на уровне 300 км [192]. С 2023 года EVM Pro начали выпускать серийно, если можно так называть объемы около 10 экземпляров в 2023 году и около 50 в 2024-м.

Все представленные примеры – это эксперименты различных автомобильных предприятий по расширению продуктовой линейки за счет существенного изменения серийных моделей с использованием их шасси и частично агрегатной базы. Это простое и очевидное решение и по такому пути шли почти все разработчики электромобилей в 2000-х годах. Важно отметить, что во всех представленных примерах шла речь о производстве новых автомобилей в условиях крупного существующего или специально созданного под проект, то есть автопроизводители не рассматривают в качестве объекта своих усилий существующий парк автомобилей.

В отличие от нашей страны, в первую очередь в Европе, в значительной степени обеспокоены влиянием стареющего парка на экологию городов в связи с чем принимаются различные меры по ограничению въезда не отвечающих жестким нормам транспортных средств, при этом приемлемого с точки зрения затрат для мелкого бизнеса и населения городов решения этой проблемы не предлагается – электрификация транспорта считается приоритетным вариантом, а покупка не дешевой продукции европейских или американских брендов полностью ложится на плечи потребителя. Именно в этой ситуации и возникла идея модернизации существующего парка транспортных средств с заменой двигателя внутреннего сгорания на электрический. В этой идее нет ничего оригинального, так как конструктивно и технологически компании, предлагающие такие услуги, повторяют наработки, реализованные автомобильными компаниями. Ключевое отличие в объекте – им может стать любой автомобиль от легкового до грузового незави-

симо от модели, года выпуска и даже технического состояния. Процесс модернизации автомобилей получил собственный неофициальный термин – «ремоторизация», однако при кажущейся перспективности этот процесс не шел дальше энтузиастов, небольших тюнинговых фирм, так как не был признан официально. Европейские страны стали снимать запреты примерно в 2019...2020 годах, когда окончательно объявили о переводе всего парка автомобилей к 2035 году с ДВС на электротягу. Государство и территориальные органы власти приняли ряд мер для поощрения перехода автомобильного парка на более чистые средства передвижения. Эти меры оказывают особенно сильное влияние на транспортные компании: налог на корпоративные транспортные средства (TVS), зоны с низким уровнем выбросов (ZFE), квоты на чистые транспортные средства при обновлении автопарков. Однако, это признают на уровне законодателей, финансовых и практических средств для осуществления этого перехода у транспортных компаний и граждан по-прежнему недостаточно для обеспечения быстрого и устойчивого обновления автомобильного парка.

Именно поэтому, официально разрешенная во Франции с момента принятия постановления от 13 марта 2020 года, модернизация позволяет менять силовую установку большинства наземных транспортных средств (а также воздушных и морских) при условии, что они зарегистрированы более 5 лет (3 года для 2-колесных). Легковые автомобили и грузовые на базе легковых автомобилей, специальные транспортные средства типа эвакуаторов или машин скорой помощи, грузовые автомобили средней и большой грузоподъемности, то есть большинство транспортных средств имеют право на переоборудование при условии, что они не имеют статуса коллекционного транспортного средства. После переоборудования модернизированные транспортные средства получают наклейку «Crit'Air0», которая позволяет им ездить везде, в том числе в зонах с ограниченным доступом, таких как ZFE (зоны с низким уровнем выбросов).

Например, французская компания «Tolv-systems» предлагает комплекты для Renault Traffic 2, Peugeot Expert, Citroën Jumpy, Mercedes Vito, Opel Vivaro и аналогичных транспортных средств, изменения касаются только силовой установки и

транспортные средства сохраняют всё своё внутреннее оснащение (полки, мастерские, оборудование) и свой экстерьер, сохраняя внешний вид и брендовое оформление [193].

В 2022 году компания Renault заявила, о технологической возможности модернизировать классические модели Renault-4 и -5, а также автомобили Twingo первого поколения. Комплекты будут поставляются компанией «R-FIT», брендом, принадлежащим «MCC Automotive». Однако даже у крупных компаний процесс электрификации оказывается весьма не быстрым, так для Renault-4 и Renault-5 планируется появление готового комплекта для модернизации только в 2024 и 2025 годах. В отличие от старых моделей, платформа Twingo третьего поколения представленная на рынке с 2014 года с самого начала была рассчитана на возможную электрификацию с использованием технологии Zoe. При этом заказ набора для модернизации уже можно оформить непосредственно в «R-FIT» онлайн. Стоимость оборудования для Renault-4 заявлена в 11900 евро, включая НДС и установку, что действительно может быть более дешевым вариантом, даже несмотря на то, что Renault Group намерена в будущем предлагать небольшие электромобили, такие как Renault-5, по ценам, начинающимся от 20000 евро. Для сравнения, Renault Zoe или Peugeot e-208 в настоящее время стоят 30000 евро, Twingo ZE стоит около 24000 евро [194, 195].

Компания «Phoenix Mobility» помогает Renault Group начать переоборудование фургонов ICE Master в полностью электрические транспортные средства с лета 2022 года. Этот проект является частью подразделения по переоснащению на заводе по переработке во Флинте, который занимается продлением срока службы автомобилей и помогает Renault экспериментировать с технологиями, реализующими принципы экономики замкнутого цикла. [193]

Схожая ситуация с экологическим законодательством и в Великобритании, поэтому фирмы, предлагающие услуги по преобразованию автомобиля в электромобиль получили широкое распространение, а в качестве объектов модернизации они выбирают наиболее знаковые для Великобритании модели. Например, компания Twisted разработала собственный комплект для модернизации Land

Rover Defender 90 и 110. Комплект Twisted EV предполагает установку электродвигателя мощностью 200 кВт и крутящим моментом 1200 Н·м, тяговой аккумуляторной батареи внутри направляющих элементов рамы (для Twisted EV 90 RHD/LHD – 68 кВт·ч с запасом хода 250 км, для Twisted EV110/130 RHD/LHD – 81 кВт·ч с запасом хода 290 км), системы рекуперативного торможения, электрического обогрева и охлаждения кабины мощностью 3 кВт, системы дистанционной диагностики. При этом электромобиль сохраняет все внедорожные функции Defender, включая ручной тормоз, коробку передач с пониженным рядом и блокировку дифференциала. Стоимость переоборудования Defender 90 составляет от 89000 фунтов стерлингов (включая НДС в Великобритании), а Defender 110 от 105000 фунтов стерлингов. [196]

Под лозунгом «стиль старого света – удобство нового мира» компания Lunaz из Сильверстоуна, помимо восстановления старых «классических английских» автомобилей предлагает их модернизацию, например, таким проектом стала модернизация автомобиля Rolls-Roys Phantom V, выпускавшегося в 50-х годах прошлого века, установкой электродвигателя мощностью 275 кВт. Следующим проектом компании Lunaz стало сотрудничество с компанией Biffa – крупным оператором по обращению с отходами в Великобритании, которая взяла на себя обязательство сократить выбросы на 50 % к 2030 году и прекратить покупку грузовиков, работающих на ископаемом топливе. По мнению ряда экспертов в Великобритании, закупка модернизированных транспортных средств представляет собой значительную экономию для налогоплательщиков, так как на каждые 20 переоборудованных и электрифицированных транспортных средств экономится более 1 миллиона фунтов стерлингов государственных средств по сравнению с покупкой новых коммерческих электромобилей аналогов. Для компании Biffa была разработан первый коммерческий электромобиль на колесах (UEV) от Lunaz – электрическая версия мусоровоза на шасси Mercedes Econic (рисунок 2.4) и заявлен объем выпуска модернизированных автомобилей на уровне 1110 единиц в год [197, 199] силами 300 рабочих, при том что у шасси этого автомобиля есть заводская электрическая версия.

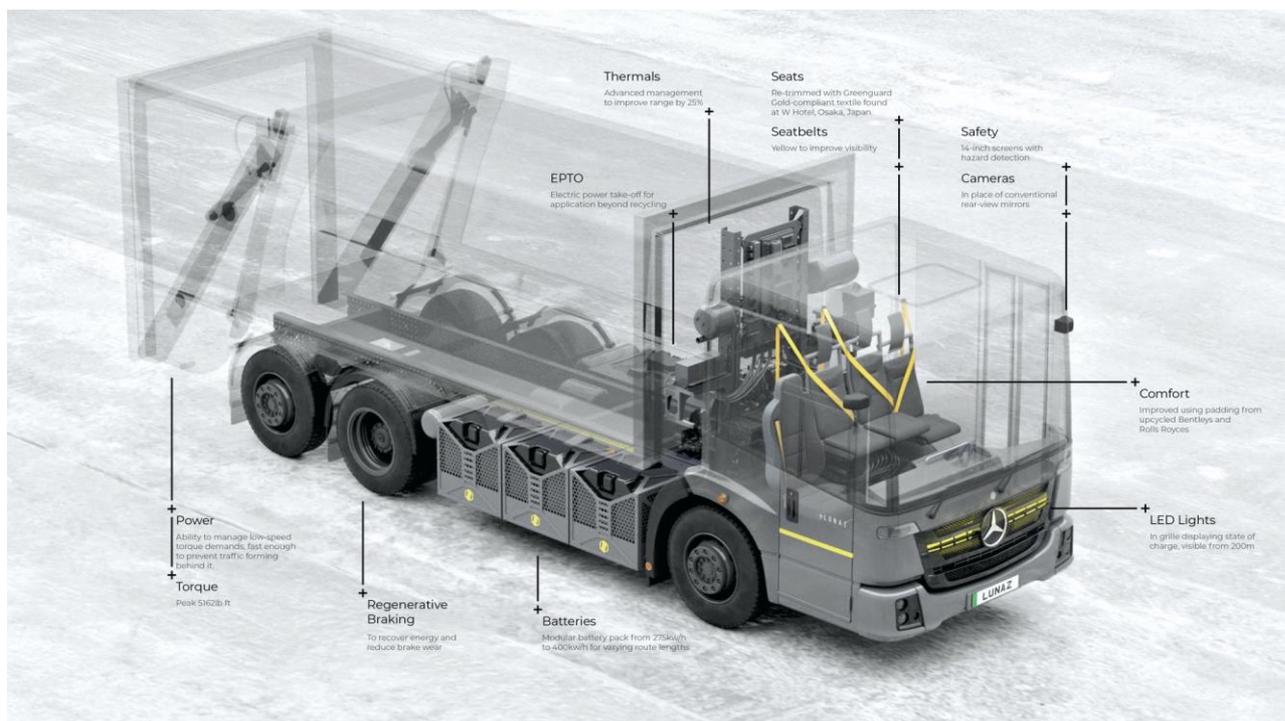


Рисунок 2.4 – Электромобиль-мусоровоз Lunaz uEV [198]

В отличие от достаточно дорогостоящих предложений, представленных выше, немецкий стартап Schmid (изобретатель Шмид Виллибальд) предлагает достаточно привлекательный вариант модернизации автомобиля по собственной запатентованной в 2012 году технологии. Патент с номером DE102012024796 называется «Комплект для преобразования транспортного средства, приводимого в движение двигателем внутреннего сгорания, т.е. легкового автомобиля, в транспортное средство, приводимое в движение электромотором, содержит передаточное устройство, прикрепленное к блоку, и коленчатый вал, вращаемый передаточным устройством» [200] предлагает обратимую модернизацию любого автомобиля, хотя реальные образцы представлены моделями Volkswagen Golf 3, Dacia Sandero и, как ни странно, ВАЗ-21213 «Нива 4×4» (рисунок 2.5). Комплект, разработанный стартапом получил название «Elantrie» и позиционируется как оригинальный, недорогой, запатентованный и многоразовый электропривод, который превращает серийный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания в 100% экологически чистый электромобиль, оставляя открытой возможность возвращения автомобиля в исходную комплектацию в кратчайшие сроки [201]. Идея мо-

дернизации заключается в том, что в подкапотном пространстве автомобиля не производится сложных изменений, так как двигатель, а точнее его блок цилиндров остается вместе с трансмиссией на месте. Из него извлекаются поршни, шатуны, демонтируется головка блока цилиндров. Электродвигатель мощностью 65 кВт устанавливается на блок двигателя с помощью монтажной пластины, а коленчатый вал приводится в движение ременным или цепным приводом (в зависимости от того какой привод газораспределительного механизма был у исходного двигателя). На автомобиле остаются генератор переменного тока, насос гидроусилителя руля и другое навесное оборудование, приводимое от коленчатого вала (рисунок 2.6). С автомобиля демонтируется топливный бак и выхлопная система. Вместо топливного бака располагается первый блок литий-железо-фосфатной тяговой высоковольтной батареи емкостью 30 кВт·ч, а вместо запасного колеса в нише второй блок (доступен только у Dacia Sandero, рисунок 2.7). Отсутствие изменений кузова определяет невысокую стоимость модернизации, которая, составляет примерно 3000 евро и небольшой запас хода (около 130 км у ВАЗ и 150 км у Dacia Sandero) из-за невозможности разместить более крупную батарею.



Рисунок 2.5 – Объекты модернизации по технологии «Elantrie» от компании Schmid

[201]



Рисунок 2.6 – Подкапотное пространство электромобиля VAZ-21213, модернизированного по технологии Elantrie [201]

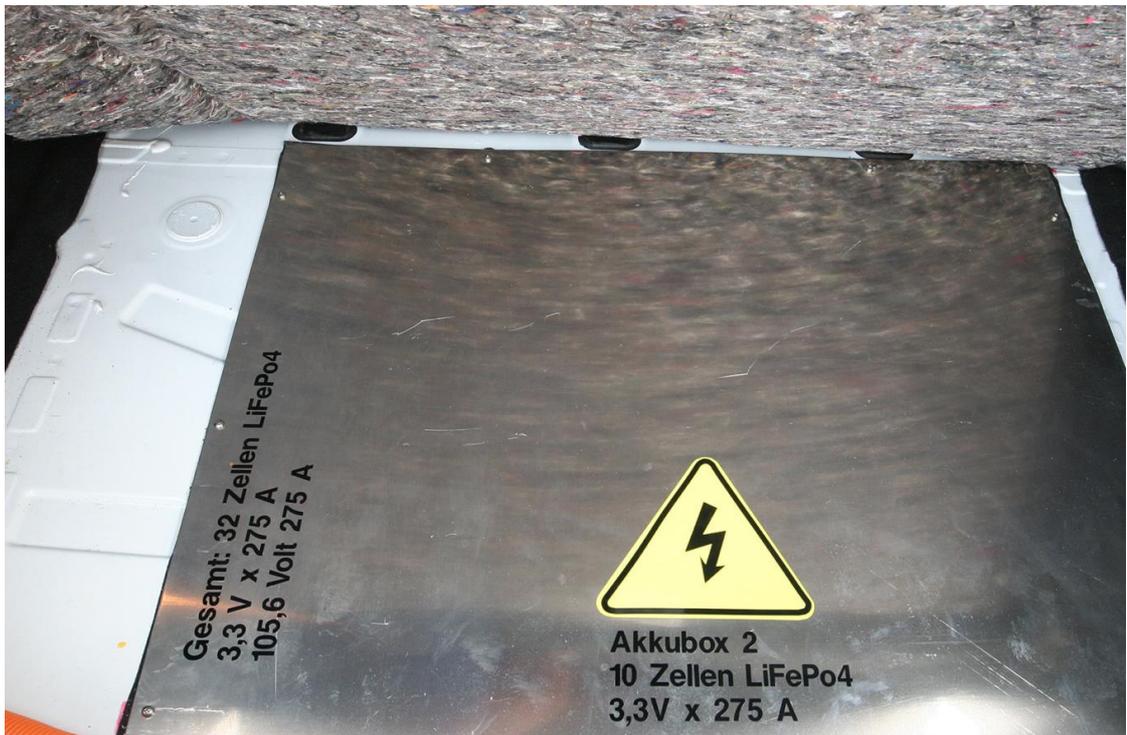


Рисунок 2.7 – Батарейный блок в нише запасного колеса электромобиля Dacia Sandero модернизированного по технологии Elantrie [201]

При этом компания, позиционирует модернизированный по ее технологии автомобиль как второй в семье, возлагая на него непродолжительные не ответственные поездки и функцию накопителя энергии для домохозяйства. В качестве ключевых достоинств обещают 10 лет без уплаты налогов, отсутствие проверок на выбросы, отсутствие типичных затрат на послепродажное обслуживание, как у всех двигателей внутреннего сгорания, отсутствие неисправностей выхлопной системы, возможность переустановки комплекта на другой автомобиль, а также бонусом – страхование, в том числе и отдельно батареи.

Идея бюджетной модернизации автомобиля с превращением его в электромобиль, сформулированная десять лет назад стала достаточно популярной, что позволило заявить, например, хорватской фирмой EV Evolution о возможности с 2022 года модернизировать любой автомобиль, посредством использования разработанного ими универсального комплекта, рассчитанного в первую очередь на компактные переднеприводные автомобили, хотя сайт компании утверждает о возможности модернизировать даже сельскохозяйственную технику [202]. В состав комплекта входит электромотор (мощностью до 400 кВт на выбор), литий-железо-фосфатная батарея емкостью до 50 кВт·ч, редуктор с полуосями (или переходник для стыковки электромотора с механической КПП), зарядное устройство, блок педали управления тягой, 12 В преобразователь, предохранители и реле электроусилитель тормозов, электрический усилитель руля, электрический кондиционер (рисунки 2.8, 2.9, 2.10). Причем часть компонентов предлагается бывших в употреблении. Из всего многообразия предложений фирмы EV Evolution выделяются два варианта «городской» – с батареей на 10 кВт·ч и 15 кВт электродвигателем за 5000 евро, а также «расширенный» – с батареей на 20 кВт·ч и 20 кВт электродвигателем за 8000 евро [202]

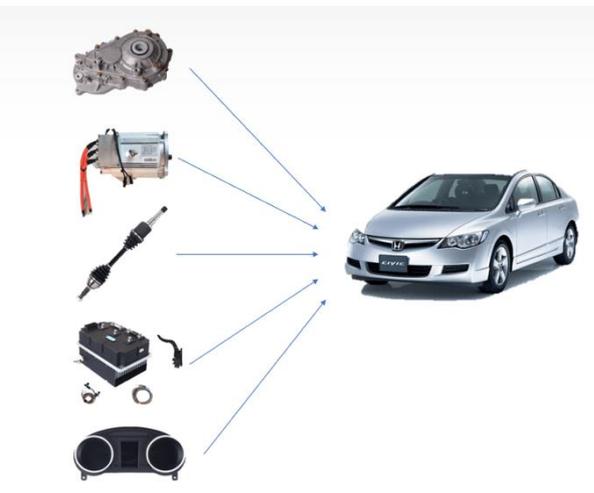


Рисунок 2.8 – Состав и общий вид комплекта для модернизации автомобиля от EV Evolution [202]



Рисунок 2.9 – Адаптер для присоединения 15/30 кВт 96 В электродвигателя переменного тока к трансмиссии от EV Evolution [203]



Рисунок 2.10 – Комплект электрического водонагревателя для электромобиля (72-120 В) от EV Evolution [204]

В отличие от европейских стран в Российской Федерации программы по переоборудованию автомобилей в электромобили не поддерживаются, а учитывая Постановление правительства № 413 «О внесении изменений в конструкцию ...» и не приветствуются [205]. Несмотря на это предложения по модернизации автомобилей в электромобили, оригинальные комплекты по аналогии с фирмой EV Evolution также присутствуют на рынке. Идея самостоятельной постройки электромобилей и других средств индивидуальной мобильности поддерживается поставками компонентов от известных китайских производителей, например, ячеек для батарей от CATL, электромоторов от Shinegle или Lianglu и других [206, 207]. С использованием таких компонентов ООО научно-производственное предприятие «Эльтавр» выпускает мини-грузовики и гольф-кары (рисунок 2.11), сертифицированные как «Электромобиль грузовой» согласно требованиям ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», регистрируемый в органах Гостехнадзора с выдачей паспорта самоходной машины, и имеющий ограничения по использованию, например, только для закрытых территорий [208, 209], а так же предлагает комплекты для переоборудования автомобилей в электромобиль стоимостью от 700000 рублей.



Рисунок 2.11 – Электромобиль грузовой «Эльтавр Як» [208]

Компания «Z-ion Controllers» предлагает оригинальный комплект низковольтного электродвигателя скомпонованного с ручной КПП «Автономный электрический силовой агрегат для электротранспорта торговой марки «Z-ion Controllers 200, 300, 500, 800, 1000» [210] (рис. 2.12), позволяющий обойти требования обязательной сертификации на соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного электрооборудования», Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», а также гибридный независимый привод [211], позволяющий продублировать трансмиссию коммерческого автомобиля (подобный прием был реализован на автомобиле ВАЗ-21213Э, построенном в МГАУ имени В.П. Горячкина в 2003 году) и расширить его возможности, например, обеспечив въезд в закрытые для неэкологичных транспортных средств зоны, которые также могут вводиться в нашей стране.



Рисунок 2.12 – Комплект для установки на автомобиль Лада Гранта с электродвигателем АИР 112 от «Z-ion Controllers» [210]



Рисунок 2.13 – Ротор электродвигателя АИР 132 и переходная планшайба, присоединенные к КПП автомобиля Газель Некст от «Z-ion Controllers» [210]

Комплект, предлагаемый компанией для переоборудования двух моделей автомобилей (Лада Гранта и Газель Некст) включает асинхронный электродвигатель переменного тока пиковой мощностью 54 или 104 кВт (АИР 112 и АИР 132 в комбинированном исполнении – фланец и лапы), контроллер, центральный блок управления, переходная планшайба, муфта соединительная между мотором и КПП, вакуумный компрессор, комплект проводки, преобразователь для бортовой сети DC/DC 13,7 V 500 W, панель приборов (модели Лада Гранта и Газель Некст), комплект кронштейнов для установки агрегата на штатные места крепления к кузову (модели Лада Гранта и Газель Некст).

Более сложный с точки зрения переоборудования комплект назван «независимый интеллектуальный привод» позиционируемый как предназначенный для установки на автомобили, в первую очередь переднеприводные (рисунок 2.14) и представляющий собой конструкцию с прямым соединением посредством плоскоременной зубчатой передачи ведущей полуоси с электродвигателем, а по-

сколько полюсов в автомобиле две, то и электродвигателей монтируется тоже два [212]. Такая конструкция позволяет обойтись без КПП и даже без главной передачи с дифференциалом.

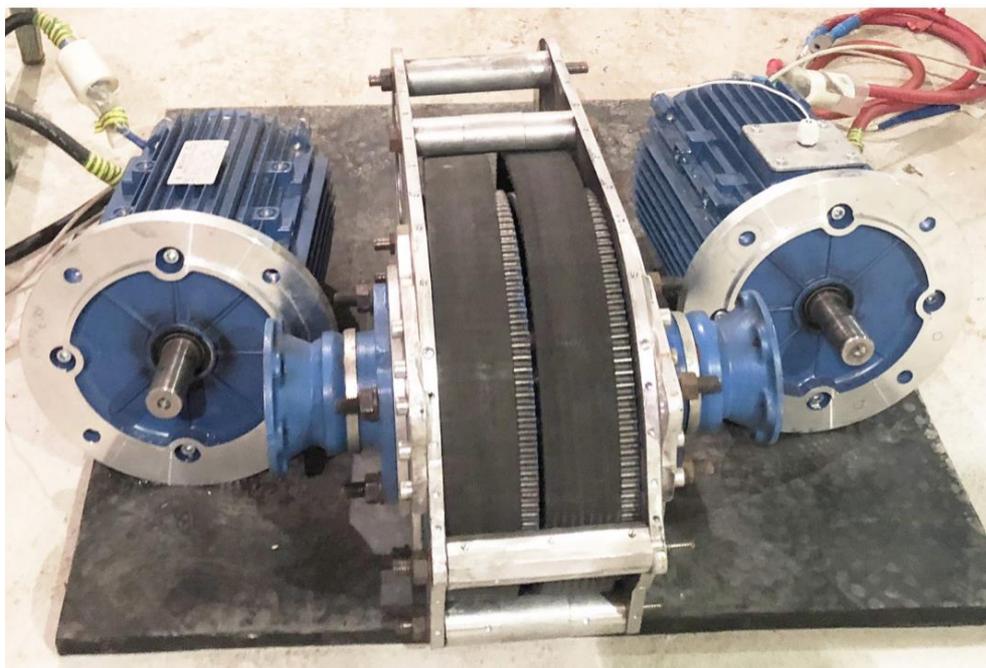


Рисунок 2.14 – Экспериментальный электрический силовой агрегат, разработанный для электромобиля на базе Mercedes A-Class от компании «Z-ion Controllers» [212]

Автомобиль УАЗ в силу своей рамной конструкции пользуется определенной популярностью как объект для модернизации. В 2022 году выше упомянутой компанией ООО Научно-производственное предприятие «Эльтавр», специализирующейся на производстве аккумуляторных транспортных средств для проведения экскурсий и обслуживания территорий предприятий был анонсирован еще один проект электрификации, выполненный на базе бывшего в эксплуатации автомобиля УАЗ-3962 (СГР) – к моменту модернизации преодолевшему 85000 км (рисунок 2.15).

Отличается этот проект от предыдущих тем, что совместно с фирмами «Элькафа» и Svyateco, была предпринята попытка адаптации под автомобильные задачи общепромышленного электродвигателя воронежского завода «Элмаш», используемого для привода станков и насосов. Электродвигатель мощностью 7,5 кВт при 750 об/мин, рассчитанный на напряжение 380 В был доработан для получения крутящего момента 220 Н·м и мощности 71 кВт при 6000 об/мин. По-

лучившееся транспортное средство по уверению разработчика способно преодолеть без подзарядки до 200 км, а от бытовой 220-вольтовой сети аккумулятор «ЭлектроБуханки» заряжается за 12 часов, от 380-вольтовой всего за четыре часа. Заявленный ресурс должен достигать 700000 км [213].



Рисунок 2.15 – Экспериментальный электромобиль «ЭлектроБуханка» ООО Научно-производственное предприятие «Эльтавр»: общий вид (сверху), вариант установки тяговой батареи (внизу слева), моторный отсек (внизу справа) (фотографии с сайта «Авито») [213]

Программу по модернизации (или как ее называли – ремоторизации) старых автомобилей разрабатывал калининградский завод «Автотор» [214] так как с технической точки зрения особых трудностей нет, в силу наличия компонентной базы из дружественных стран. Однако, трансформация автомобиля в электромобиль сопряжена с необходимостью размещать аккумуляторные батареи с учетом ком-

поновки автомобиля-объекта и требований безопасности, что может потребовать модернизации платформы, а это уже более сложная и дорогостоящая проектная деятельность. Дополнительные сложности связаны с законодательным регулированием таких изменений, так как в конструкцию автомобиля вносятся существенные изменения, влияющие в том числе на его активную и пассивную безопасность. При этом возможностей крупного автосборочного предприятия достаточно для преодоления этой проблемы совместно с Минпромторгом РФ. Переоборудование автомобиля в электромобиль может стать альтернативой капитальному ремонту вышедшего из строя ДВС. Однако в этом случае специализированным сервисным предприятиям, которые решат предоставлять такие услуги клиентам, придется конкурировать по цене с обычными предприятиями технического сервиса, ремонтирующими двигатели и другие агрегаты, или с компаниями, занимающимися утилизацией автомобилей и реализующих поддержанные агрегаты всех видов. Стимулировать модернизацию автомобилей с преобразованием в электромобили могла бы госпрограмма по поддержке ремоторизации автомобилей с ДВС, так как просто ценовая конкуренция может быть не в пользу отказа от ДВС. Проблемы ремоторизации активно обсуждались на конференции «Ремоторизация: возможности и перспективы» в 2023 году, был даже представлен один автомобиль (Киа Церато, ранее собиравшийся на «Автоторе»), прошедший эту процедуру. Однако больше новостей в рамках этой темы не было, а сам завод «Автотор» уже 21 февраля 2024 года отчитался о начале производства нового российского электромобиля «Амберавто А5» (в прошлом это был китайский электромобиль JMEV Yi, разработанный совместно с Renault), что вполне логично для крупного предприятия, которому проще освоить массовое производство нового изделия, а не вести фактически индивидуальную работу с каждым собственником автомобиля.

Процесс замены или модификации существующего двигателя на автомобиле или транспортно-технологической машине с целью улучшения их характеристик или функциональности можно считать перспективным направлением, кроме того, эту процедуру можно рекомендовать как альтернативу дорогостоящему ре-

монтажу двигателя или коробки перемены передач, а также при невозможности его выполнить из-за отсутствия запасных частей, как новых, так и бывших в употреблении или очень больших логистических затратах на реализацию процесса ремонта. Поскольку модернизации транспортно-технологической машины установкой электродвигателя предполагает установку новых компонентов, например, тяговой батареи, модернизация может быть дорогостоящей и требовать определенных затрат времени и ресурсов. Поэтому для принятия решения о модернизации транспортно-технологической машины таким способом важно тщательно оценить все факторы на основе анализа которых сформулировать условия, при которых модернизация будет рациональна, что и определяет дальнейшую концепцию нашего исследования.

2.5. Методика определения параметров модернизируемой транспортно-технологической машины

Как уже упоминалось, одной из возможных задач модернизации транспортно-технологических машин является выполнение механизированных полевых или транспортных работ без закупки новой техники в случае выхода из строя имеющейся и невозможности выполнения восстановительных работ в разумные сроки или с приемлемой стоимостью. Теоретически модернизации может подвергнуться любая транспортно-технологическая машина, но препятствием здесь будет конечно же сложность индивидуального подхода к каждой машине, что увеличивает трудоемкость модернизации и может даже сделать ее нерентабельной из-за высоких затрат.

Реальный эффект от модернизации транспортно-технологической машины можно получить если эксплуатационные затраты на выполнение каждой технологической операции или транспортной работы будут минимальными при высокой производительности. Максимальный эффект ресурсосбережения можно достичь путем оптимизации параметров и режимов работы модернизируемых транспортно-технологических машин в соответствии с установленными критериями оптимальности в заданных природно-производственных условиях. Это позволит мак-

симально адаптировать параметры модернизируемой транспортно-технологической машины к конкретным условиям хозяйства-заказчика с учетом возможности повторного использования серийных агрегатов и узлов, а также полнокомплектных аккумуляторных батарей или индивидуально подобранных сборок.

Модернизация транспортно-технологических машин, параметры которых будут соответствовать интересам производителей сельскохозяйственной продукции, например, таким как экономия при модернизации в сравнении с покупкой новой машины или меньшие эксплуатационные затраты, будучи при этом адаптированными к биологическим, ландшафтным и экологическим ограничениям, является важным направлением научных исследований в области механизации сельского хозяйства. Методы оптимизации параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов, описанные в [215, 216, 218, 219], могут быть применены как для разработки новых агрегатов, так и для модернизации существующих с обеспечивающих высокую эффективность для выбранных собственником планируемых условий работы модернизируемой машины.

Основной отличительной чертой этих методов является многоуровневый системный подход, который позволяет последовательно рассматривать задачи оптимизации как по экономическим, так и по техническим критериям. Из множества уровней оптимизации, рассмотренных в [216, 218, 219], для решения задач данного исследования выбраны первые три уровня (рисунок 2.16), на которых осуществляется выбор оптимальных энергетических параметров модернизируемой транспортно-технологической машины, а также определяются оптимальные значения ширины захвата рабочих органов и рабочей скорости транспортно-технологической машины.

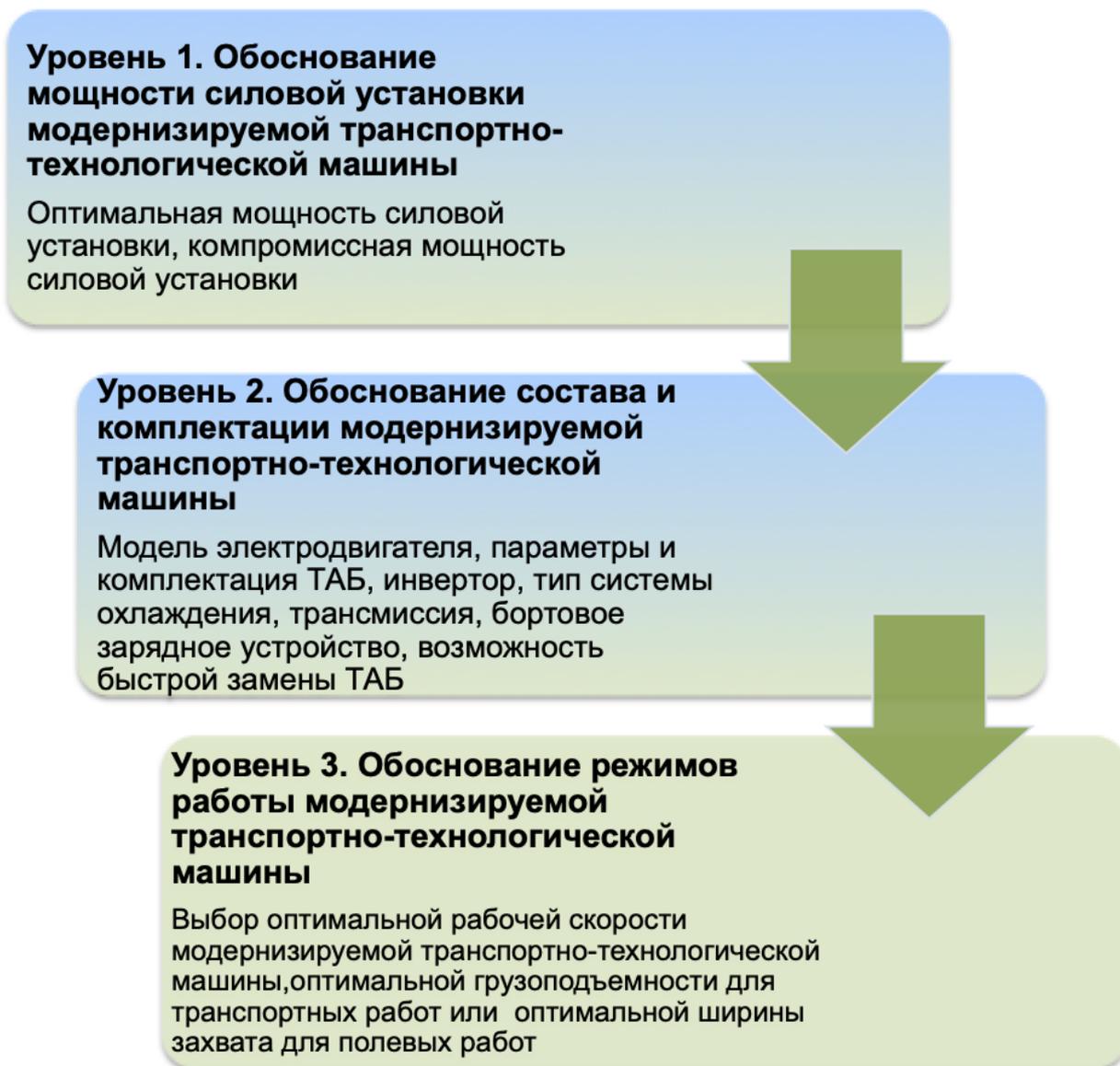


Рисунок 2.16 – Методика обоснования параметров модернизируемой машины как многоуровневая система

Определение значений ширины захвата рабочих органов и рабочей скорости транспортно-технологической машины также решает задачу оптимального распределения мощности двигателя, необходимой для приведения в движение транспортно-технологической машины, а также мощности двигателя, необходимой для привода рабочих органов.

Важной отличительной особенностью перспективных электрифицированных транспортно-технологических машин является вариативность их конструкции. Следует отметить, что главной отличительной особенностью транспортно-технологических машин от транспортных машин является необходимость органи-

зации двух потоков мощности – на ходовую часть и на рабочие органы. Вариантов комплектации транспортно-технологической машины может быть сразу несколько (рисунок 2.17).

1. На борту может быть один электродвигатель мощность которого будет отбираться для осуществления хода машины и привода рабочих органов при их наличии, что, однако, будет требовать сложной и возможно оригинальной трансмиссии, делая такую модернизацию очень сложной и сопоставимой с проектированием новой машины. Питание электродвигателя осуществляется от одной тяговой батареи (рисунок 2.17 а).

2. Второй возможный вариант – ход машины и привод рабочих органов реализуется индивидуальными электродвигателями разной мощности, питающимися от одной тяговой батареи. Такой вариант модернизации является самым вариативным по набору компонентов, которые можно использовать при модернизации машины (рисунок 2.17 б).

3. Третий возможный вариант – ход машины реализуется дизельным двигателем, а привод рабочих органов реализуется индивидуальными электродвигателями, получающими электрическую энергию от генератора, установленного на ДВС и от буферной батареи или конденсаторов, для преодоления пиков нагрузки. Такой вариант доступен если ДВС конструктивно допускает установку мощного генератора, на маховике (рисунок 2.17 в).

4. Четвертый вариант – ход машины и привод рабочих органов реализуется индивидуальными электродвигателями разной мощности, питающимися от одной тяговой батареи и генератора, состыкованного с ДВС (рисунок 2.18 г).

На первом уровне определения параметров модернизируемой транспортно-технологической машины она рассматривается как единое целое, характеризующаяся одним обобщенным параметром – номинальной мощностью двигателя, от которой зависят все остальные параметры агрегатов через соответствующие соотношения.

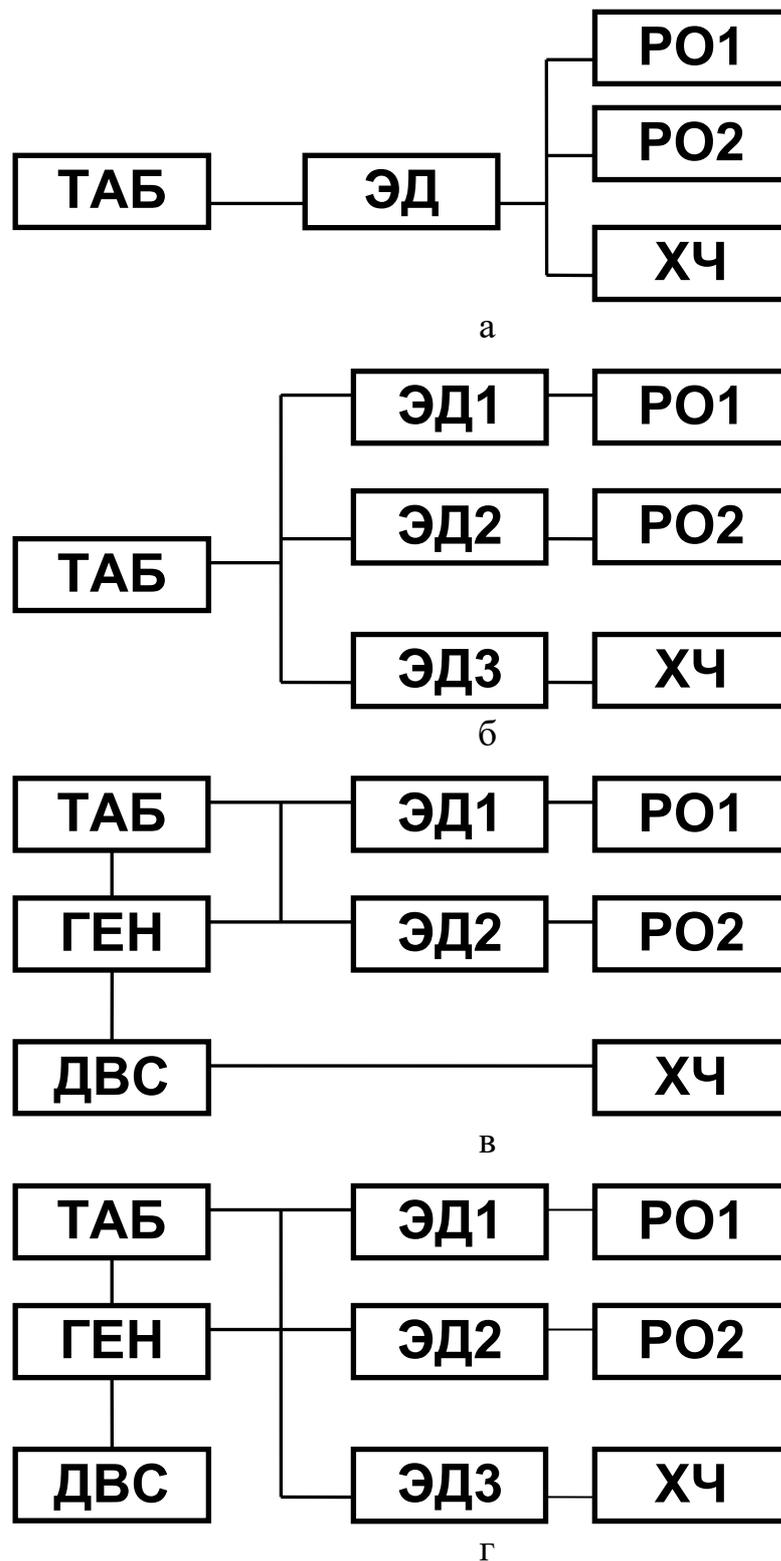


Рисунок 2.17 – Функциональные схемы транспортно-технологической машин: а, б – батарейные ТТМ; в, г – гибридные ТТМ; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ГЕН – генератор; ТАБ – тяговая аккумуляторная батарея; ЭД – электродвигатель; ХЧ – ходовая часть; РО – рабочий орган

Основным критерием оптимальности на первом уровне следует назначить минимум приведенных затрат

$$Z_{\Pi} = \frac{Z_{\text{ПС}}}{\Pi_{\text{ТТМ}}} \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

где Z_{Π} – приведенные затраты, руб/м²;

$Z_{\text{ПС}}$ – приведенные затраты за единицу времени, руб/с;

$\Pi_{\text{ТТМ}}$ – эксплуатационная производительность агрегата, м²/с.

Исследования [218, 219] показали, что значения $Z_{\text{ПС}}$ и $\Pi_{\text{ТТМ}}$ для всех типов транспортно-технологических машин зависят от единого обобщенного параметра – номинальной мощности двигателя в виде

$$Z_{\text{ПС}} = f_{Z_{\text{О}}}(N_{\text{Н}}), \quad \Pi_{\text{ТТМ}} = f_{\Pi_{\text{ТТМ}}}(N_{\text{Н}}), \quad (2.2)$$

где $N_{\text{Н}}$ – номинальная мощность двигателя, Вт.

При этом значение $Z_{\text{ПС}}$ определяется как сумма двух составляющих

$$Z_{\text{ПС}} = f_{Z_{\text{Н}}}(N_{\text{Н}}) + Z_{\text{О}}, \quad (2.3)$$

где $Z_{\text{О}}$ – постоянная часть приведенных затрат, не зависящая от мощности, руб/с.

На основании (2.1)...(2.3) этих данных для критерия оптимальности можно получить обобщенное выражение для критерия оптимальности получим обобщенное выражение

$$Z_{\Pi} = \frac{f_{Z_{\text{Н}}}(N_{\text{Н}}) + Z_{\text{О}}}{f_{\Pi_{\text{ТТМ}}}(N_{\text{Н}})} \rightarrow \min. \quad (2.4)$$

В современных условиях высокой нестабильности цен на транспортно-технологические машины, сельскохозяйственную технику, эксплуатационные материалы и даже электроэнергию экспертами высказываются сомнения относительно целесообразности использования приведенных затрат как основного критерия оптимальности и экономической эффективности. Решение этой проблемы заключается в переходе к относительным затратам, которые менее подвержены рыночным колебаниям цен.

Применительно к критерию оптимальности, переход к относительным затратам осуществляется путем деления обеих частей равенства на постоянную часть затрат

$$\bar{z}_\Pi = \frac{z_\Pi}{z_0} = \frac{\left[\frac{f_{3N}(N_H)}{z_0} \right] + 1}{f_{\Pi_{ТТМ}}(N_H)} \rightarrow \min, \quad (2.4)$$

где \bar{z}_Π – относительные затраты, 1/(м²/с).

Поскольку затраты, зависящие от мощности и постоянные затраты изменяются примерно в равных пропорциях, их отношение остается стабильным. Оптимальная мощность по критерию определяется несложным численным решением с последовательно возрастающими значениями мощности.

Схема такого решения представлена на рисунке 2.18, где также показано изменение производительности агрегата в зависимости от мощности. Из практического опыта известно [215, 216, 221, 218, 219], что оптимальной мощности часто соответствуют агрегаты с относительно низкой производительностью, что может не удовлетворять требованиям повышения производительности, особенно в сложных погодных условиях и при нехватке кадров на предприятии. Выход из этого противоречия возможен на основе компромиссного решения [215, 216, 218, 219], схема которого также представлена на рисунке 2.18.

Мы задаем приемлемое отклонение $\Delta \bar{z}_{\Pi_{ТТМ\min}}$ от минимальных затрат $\bar{z}_{\Pi_{ТТМ\min}}$ и определяем компромиссную мощность $N_{НК}$, при которой производительность агрегата $\Pi_{ТТМК}$ значительно превышает значение $\Pi_{ТТМС}$ при $N_H = N_{\text{Opt}}$. Практические расчеты показали, что прирост производительности $\Delta \Pi_{ТТМК}$ может достигать 30...40 % по сравнению с $\Pi_{ТТМС}$. Таким образом, отклонение от минимальных затрат $\bar{z}_{\Pi_{ТТМ\min}}$ до 5 % практически обеспечивает желаемый прирост производительности агрегатов с учетом местных условий. Транспортно-технологические машины, находящиеся в диапазоне мощностей $N_{\text{Opt}} \leq N_H \leq N_{НК}$, будут удовлетворять требованиям как ресурсосбережения, так и высокой производительности.

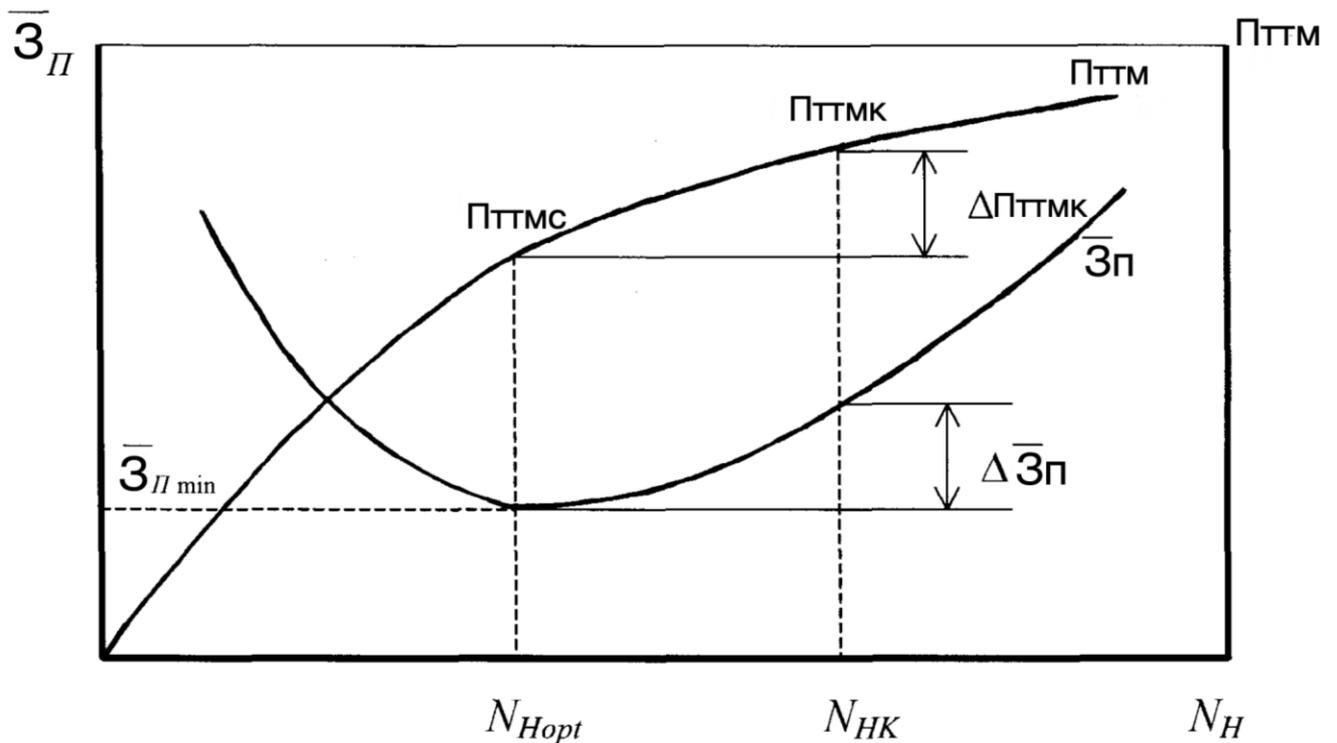


Рисунок 2.18 – Общая схема обоснования мощности силового агрегата транспортно-технологической машины

Когда выполняется несколько операций разными рабочими органами на базе одной транспортно-технологической машины, что зачастую имеет место в реальных производственных условиях, в качестве критерия оптимальности вместо (2.4) следует выбрать минимум суммы приведенных затрат на выполнение всех работ с учетом их объемов

$$Z_{П\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{f_{3Ni}(N_H) + Z_{Oi} F_i}{f_{ПТТМ i}(N_H)} \rightarrow \min, \quad (2.5)$$

где $Z_{П\Sigma}$ – сумма приведенных затрат на всех выполняемых работах, руб;

F_i – объем каждого i -го вида работы, га;

n – общее число операций.

Для удобства решения целесообразно разделить равенство (2.5) на общую площадь всех работ F_{Σ} , а затем на постоянную часть приведенных затрат любой k -ой работы $Z_{ОК}$, в результате чего получим относительные затраты

$$\bar{z}_{\Pi\Sigma} = \frac{z_{\Pi\Sigma}}{F_{\Sigma} z_{OK}} = \sum_{i=1}^n \frac{\left[\frac{f_{3Ni}(N_H)}{z_{OK}} \right] + \mu_{3i}}{f_{\Pi_{TM}i}(N_H)} \varepsilon_{Fi}, \quad (2.6)$$

где $\bar{z}_{\Pi\Sigma}$ – суммарные относительные затраты, 1/(м²/с);

$$\mu_{3i} = \frac{z_{oi}}{z_{ok}}; \quad \varepsilon_{Fi} = \frac{F_i}{F_{\Sigma}}.$$

Дальнейшие численные оптимальные и компромиссные решения осуществляются по аналогии со схемой, представленной на рисунке 2.2. Результатом такого решения является диапазон мощностей $N_{\text{Нopt}} \dots N_{\text{НК}}$ для всей группы операций, отвечающих требованиям ресурсосбережения и высокой производительности. В этом диапазоне выбираются соответствующие параметры для модернизируемой транспортно-технологической машины, наиболее подходящие для местных условий. Выбор конкретной модели силового агрегата из представленных на рынке новых или вторичных становится основой подбора остальных компонентов модернизируемой транспортно-технологической машины (тяговой аккумуляторной батареи, инвертора, зарядного устройства и т.д.) завершая таким образом первый уровень оптимизации параметров и режимов работы модернизируемой транспортно-технологической машины.

Второй уровень оптимизации представляет собой сравнение доступных силовых агрегатов (электродвигателей) и систем, обеспечивающих их работу в зависимости от модели и конструктивных особенностей, а также элементов трансмиссии (редукторов) необходимых для соединения интегрируемых агрегатов с ходовой частью модернизируемой транспортно-технологической машины [220].

Третий уровень оптимизации включает обоснование оптимальной рабочей скорости V_{opt} и ширины захвата B_{opt} агрегата [215, 216, 221], который будет составлен в соответствии с потенциальными возможностями подобранной комплектации модернизируемой транспортно-технологической машины. Поскольку для электрифицированной транспортно-технологической машины определяющим фактором, влияющим на продолжительность работы, является емкость тяговой

аккумуляторной батареи, необходимо в качестве основного критерия принять минимум энергозатрат во время выполнения технологических операций

$$E = \frac{N_H \varepsilon_N}{BV} \rightarrow \min, \quad (2.7)$$

где ε_N – допустимый коэффициент загрузки двигателя (может определяться отношением между текущей величиной тока к максимальной на которую рассчитан электродвигатель); B – рабочая ширина захвата, м; V – скорость движения транспортно-технологической машины при рабочем ходе, м/с.

Максимально допустимые значения ширины захвата (B_D) и рабочей скорости (V_D) определяются агротехническими требованиями, условиями маневрирования и устойчивости движения, физиологическими возможностями оператора транспортно-технологической машины, а также другими факторами.

Существуют ограничения по агротехническим требованиям на буксование, которое должно быть не больше допустимого значения ($\delta \leq \delta_D$) для движителей транспортно-технологической машины. Таким образом, помимо критерия оптимальности (2.7), необходимо учитывать три основных ограничения

$$\delta \leq \delta_D, B \leq B_D, V \leq V_D, \quad (2.8)$$

где δ_D , B_D , V_D – допустимые значения буксования, ширины захвата и рабочей скорости для определенного типа транспортно-технологической машины.

Также важно соблюдать баланс мощности транспортно-технологической машины, чтобы оптимальные значения скорости (V_{opt}) и ширины захвата (B_{opt}), определяемые по критерию (2.7), соответствовали равенству

$$N_H \varepsilon_N = N_B + N_T, \quad (2.9)$$

где N_B , N_T – это доли мощности двигателя, используемые для привода активных рабочих органов и для тяговых процессов, реализуемых ходовой частью через крюк или другой тяговый орган, например, навесной механизм, в ваттах (B_T).

Конкретные выражения для N_B и N_T в зависимости от скорости V и ширины захвата B приведены в [215, 216, 217, 218, 219, 221] в связи с чем далее можно будет представить общую схему определения B_{opt} и V_{opt}

$$N_B = f_B(B, V), N_T = f_T(B, V) \quad (2.10)$$

Условие связи на основе (2.9, 2.10) будет выглядеть как

$$N_H \varepsilon_N = f_B(B, V) + f_T(B, V). \quad (2.11)$$

Из равенств (2.7, 2.11) с учетом (2.8) мы можем определить оптимальные значения скорости и ширины захвата в упрощенной последовательности. Сначала выразим ширину захвата B через скорость, используя (2.11) в виде

$$B = mH_{\varepsilon V}, \quad (2.12)$$

где m – эксплуатационная масса транспортно-технологической машины, выраженная в килограммах.

Под $H_{\varepsilon V}$ подразумевается сокращенное обозначение функции, зависящей от энергонасыщенности транспортно-технологической машины (ε) и ее скорости

$$H_{\varepsilon V} = f_H(\varepsilon, V), \quad (2.13)$$

где $\varepsilon = N_H/m\varepsilon$ – это энергонасыщенность транспортно-технологической машины в ваттах на килограмм (Вт/кг).

На основании выражений (2.7, 2.12, 2.13) критерий оптимальности будет выглядеть как

$$E = \frac{N_H \varepsilon_N}{mH_{\varepsilon V}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_N}{f_H(\varepsilon, V)} \rightarrow \min. \quad (2.14)$$

По критерию (2.14) в результате численного решения определяется оптимальная рабочая скорость агрегата (V_{opt}). Упрощенные методы определения V_{opt} аналитическим способом описаны в [215, 216, 218, 219]. Если V_{opt} превышает V_D , то в последующих расчетах рациональной рабочей скоростью (V_p) будет считаться V_D .

Подставив значение $V = V_{opt}$ в (2.13), мы получим $H_{\varepsilon V_{opt}} = f_H(\varepsilon, V_{opt})$, а затем из (2.12) определим оптимальную ширину захвата рабочих органов транспортно-технологической машины

$$B_{opt} = mH_{\varepsilon V_{opt}}. \quad (2.15)$$

Оптимальная ширина захвата (B_{opt}) также сравнивается с допустимым значением (B_d) из (2.8) и при необходимости корректируется, проверяя соблюдение ограничения на буксование согласно (2.8). На основе значения B_{opt} выбирается соответствующее количество машин и, если конструктивно такое потребуется, то и необходимое количество сцепок.

При $B=B_{opt}$ и $V=V_{opt}$ на основании (2.10) можно определить оптимальные значения мощности, реализуемые рабочими органами, имеющими индивидуальный электропривод и электропривод ходовой части

$$N_{B_{opt}} = f_B(B_{opt}, V_{opt}), N_{T_{opt}} = f_T(B_{opt}, V_{opt}). \quad (2.16)$$

Для самоходных транспортно-технологических машин, технологический процесс которых не предполагает прямое взаимодействие с почвой, силы сопротивления слабо зависят от скорости, что позволяет использовать множество рациональных сочетаний ширины захвата (B_p) и рабочей скорости (V_p), которые удовлетворяют балансу мощности двигателя и пропускной способности рабочих органов

$$N_H \varepsilon_N \geq f_{BV}(B_p, V_p). \quad (2.17)$$

Также должны соблюдаться ограничения $B_p \leq B_d$ и $V_p \leq V_d$. Буксование движителей самоходных машин обычно не превышает допустимые границы. На основе значения B_p выбирается соответствующая машина.

Определение оптимальных значений мощности ($N_{H_{opt}}$), рабочей скорости (V_{opt}) и ширины захвата (B_{opt}) завершают комплектование модернизируемой транспортно-технологической машины с учетом конкретных условий работы, удовлетворяющей заказчика по критерию энергосбережения. Информация об оптимальном комплекте агрегатов и узлов, формирующих модернизируемую транспортно-технологическую машину будет выгодна как для заказчиков, так и для специализированного сервисного предприятия, которое сможет при согласовании с заказчиком тиражировать успешный проект. Дальнейшее повышение эффективности работы в рамках модернизации транспортно-технологической машины до-

стигается за счет оптимизации взаимодействия специализированного сервисного предприятия с заказчиками его услуг.

2.6. Основы формирования производственно-технической базы специализированных сервисных предприятий

Несмотря на заявленную экологичность, электромобиль оказывает негативное воздействие на окружающую среду не только в процессе движения, но и находясь на плановом обслуживании или в ремонте, а также после списания. Одним из способов защиты окружающей среды является недопущение попадания отходов технического обслуживания и ремонта на полигоны для захоронения. Добиться этого можно создав сеть специализированных сервисных предприятий технического обслуживания и ремонта электромобилей, как совмещенных, так и не совмещенных с пунктами утилизации или производствами альтернативных изделий из элементов как в целом электромобиля, так и его тяговой аккумуляторной батареи в частности.

Широко известно, что выходящие из эксплуатации аккумуляторы электромобилей можно перепрофилировать для различных вариантов применения, например, для стационарных систем хранения энергии или менее требовательных к тяговой батарее транспортно-технологических машин, поскольку они сохраняют более 60 % своей первоначальной емкости, а ряд исследований и вовсе рекомендует списывать тяговую батарею при достижении величины SOH 80 %. Перепрофилирование списанных аккумуляторов электромобилей с истекшим сроком эксплуатации в аккумуляторы, предназначенные для альтернативного использования может сократить выбросы углекислого газа в течение жизненного цикла на 2...17 % по сравнению с классической переработкой и рециклингом, за счет снижения потребности в первичном сырье благодаря снижению потерь при переработке и уменьшению энергетических затрат на реализацию процесса переработки [224, 225]. При этом важно обеспечить, экономическую целесообразность организации восстановления аккумуляторной батареи для альтернативного использова-

ния за счет минимизации потребности в дополнительных материалах, трудовых и энергетических затратах, с учетом тенденции снижения цен на новые аккумуляторные батареи. Повторное использование и переработка литий-ионных батарей необходимы для снижения экологических рисков, связанных с утилизацией батарей, при этом переработка демонстрирует значительно меньшее воздействие на окружающую среду и экономическую целесообразность по сравнению с производством новых батарей [226, 165].

Как уже было указано в первой главе, ближайшее десятилетие количество выбывающих из эксплуатации электромобилей и гибридных автомобилей в России существенно возрастет, так как большинство из них было импортировано поддержанными с частично израсходованным ресурсом аккумуляторной батареи, а новые электромобили будут эксплуатироваться в изначально более жестких условиях, чем за рубежом, учитывая российский климат и дорожные условия. Рост количества списаний электромобилей и отдельно их аккумуляторных батарей потребует решения проблемы приема, реновации, вторичного использования в системах запаса энергии, переработки и утилизации. Стимулом к началу волны списаний техники может стать постепенный выход к критическим наработкам гибридных автомобилей и электромобилей «первой волны», как пример, это Nissan Leaf в версии ZE0, которые в скором времени достигнут двадцатилетнего возраста, который даже самые оптимистичные публикации называют предельным для высоковольтных аккумуляторных батарей даже при самых благоприятных условиях эксплуатации [227, 170].

Поскольку количество электромобилей и гибридных автомобилей в России невелико по сравнению с обычными транспортными средствами, использующими классические топлива [228, 10], крупные дилерские предприятия не будут заниматься проблемой обеспечения повторного использования аккумуляторных батарей, следовательно необходимо ориентировать независимые специализированные сервисные предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей не только на работу с «полнокомплектными» электромобилями и гибридными автомобилями, но и отдельными их компонентами, например, тяговыми аккумуля-

торными батареями, в перспективе создавая из отдельных предприятий целую систему.

Помимо простой утилизации, выбывшие из эксплуатации тяговые батареи электромобилей могут быть использованы как минимум в пяти вариантах коммерчески эффективного альтернативного использования, то есть изделия, полученные с использованием бывших в употреблении ячеек будут востребованы покупателями. К самым коммерчески привлекательным альтернативным вариантам использования относятся:

- использование ячеек аккумуляторных батарей для использования в системах хранения энергии для домашних систем энергоснабжения (все чаще предлагаются как замена резервным генераторам, особенно для загородного жилья);
- использование ячеек аккумуляторных батарей в системах резервного электроснабжения для предприятий (как правило в дополнение к резервным генераторам);
- использование ячеек аккумуляторных батарей для использования в качестве накопителя для солнечных электростанций (как правило небольшой мощности);
- использование ячеек аккумуляторных батарей для создания портативных накопителей энергии для устройств, используемых в отрыве от сетей электроснабжения;
- использование ячеек аккумуляторных батарей в системах поддержания заряда электромобилей на парковках и станциях зарядки;
- использование ячеек аккумуляторных батарей для в составе тяговых батарей транспортно-технологических машин не предъявляющих высоких требований к запасу хода, скорости, грузоподъемности или не претендующих на эксплуатацию на дорогах общего пользования;
- использование ячеек аккумуляторных батарей для формирования так называемых «КИТ-комплектов» для технического творчества.

Потенциально, специализированные сервисные предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей могут выступать как часть системы сбора и обращения с вторичными ресурсами, внимание которой в последнее время уделяется все больше. Для этого можно создать программу по сбору батарей

различного типа, которая будет предлагать владельцам электромобилей возможность сдать использованные аккумуляторы от любых видов устройств для дальнейшей переработки или вторичного использования в обмен на скидки при обслуживании или ремонте или в обмен на бонусы в рамках программ лояльности, реализуемых специализированными сервисными предприятиями технического обслуживания и ремонта электромобилей. Далее можно установить специальные пункты сбора батарей в различных городах и регионах, где есть предприятия-партнеры специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей и владельцы смогут сдать бывшие в эксплуатации аккумуляторы различных видов при условии обеспечения удобных условий для сдачи и рентабельности транспортировки батарей. На следующем этапе можно внедрить систему проверки и оценки состояния сдаваемых батарей, чтобы определить их пригодность для дальнейшего использования или переработки. При образовании потока сдаваемых аккумуляторов можно установить партнерские отношения с предприятиями, занимающимися переработкой и вторичным использованием тяговых батарей, чтобы обеспечить их эффективное использование, если это невозможно сделать в условиях специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей. Если невозможно или не рационально вести работу по обеспечению повторного использования батарей в условиях специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей необходимо организовать процесс логистики и транспортировки собранных батарей к пунктам переработки или вторичного использования, чтобы обеспечить их безопасность и экологическую утилизацию. Все эти процессы, конечно, должны быть поддержаны информационной кампанией о программе сбора батарей, чтобы привлечь больше владельцев электромобилей и повысить осведомленность о важности утилизации и переработки тяговых батарей.

Объектом нашего исследования является технологическое обеспечение модернизации транспортно-технологических машин с повторным использованием выбывших из эксплуатации аккумуляторных батарей, реализуемое в условиях

специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей.

Модернизации транспортно-технологических машин с повторным использованием выбывших из эксплуатации аккумуляторных батарей выбывших из эксплуатации автомобилей предполагает, что в специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей поступают обращения от индивидуальных или корпоративных собственников транспортных средств на выполнение нескольких существенно различающихся видов работ, включая: модернизацию предложенного клиентом шасси (как автомобильное, так и от любой самоходной машины); замену высоковольтных аккумуляторных батарей на новые; ремонт высоковольтных аккумуляторных батарей с заменой отдельных ячеек, включающий диагностику и балансирование; реновацию высоковольтных аккумуляторных батарей подразумевающую полную замену элементной базы батареи в имеющемся корпусе из новых элементов, подбираемых из выпускающихся на данный момент с сохранением базовых характеристик батареи (выходное напряжение, емкость); разборку для целей утилизации с отбором годных для повторного использования элементов.

Следовательно, специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей должно иметь соответствующую производственно-техническую базу (производственные площади, технологическое оборудование, квалифицированные кадры) способную обеспечить весь комплекс работ с модернизируемой транспортно-технологической машиной, с тяговыми аккумуляторными батареями, эффективно функционирующую в условиях конкурентной среды и обеспечивая требования регулирующих органов в части обеспечения безопасности труда и защиты окружающей среды. Примерная схема работы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей по обращению с тяговыми аккумуляторными батареями показана на рисунке 2.19.

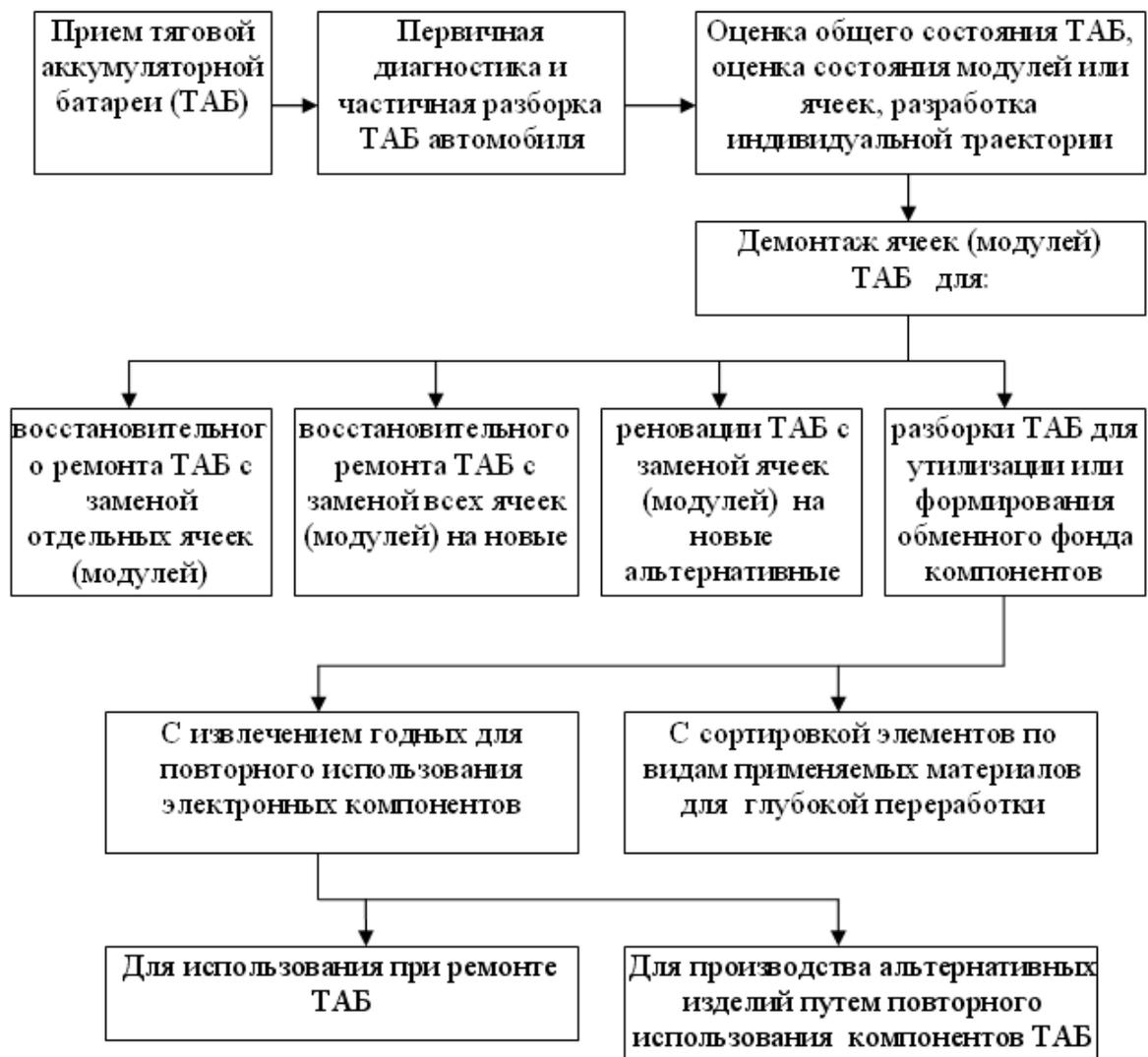


Рисунок 2.19 – Схема работы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей по обращению с тяговыми аккумуляторными батареями

Основой взаимных отношений собственников транспортных средств и специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей является наличие обращений на выполнение каких-либо услуг (техническое обслуживание, текущий ремонт (зачастую совмещенный с модернизацией), заявочное диагностирование и т.п.) и потенциальной производственно-технической базы (производственные площади, технологическое оборудование и персонал) способной удовлетворить эти заявки, при этом система взаимодействия и организация взаимных отношений клиентов и исполнителей услуг зависит от характера потока обращений клиентов, который может варьироваться в зависимости от региона, от сезона и от ряда других факторов.

Теоретические положения целого ряда исследований, например, Асадова Д.Г, Легезы Г.В., Бобровицкого Н.М. [94, 97, 96], посвященных сервисным системам и взаимодействию клиентов и исполнителей услуг, особенно на примере технического сервиса транспортных и транспортно-технологических машин показывает, что обращения, связанные с выполнением работ по техническому обслуживанию, текущему ремонту, заявочному диагностированию и даже на зарядку электромобиля будут случайными и по временным интервалам между ними и по предполагаемому объему работ, учитывая разномарочной и разновозрастность представленных в парке транспортных средств. Кроме этого, даже одинаковые технологические процессы не выполняются за одно и то же время из-за различия оснащенности предприятий технологическим оборудованием и обеспеченности трудовыми ресурсами [191, 4, 229], а технологические процессы модернизации и вовсе могут быть индивидуальными не повторяющимися проектами, хотя общая их схема однотипна и представлена в пункте 2.3.

Поток обращений клиентов, имеющих потребность в оказании им услуг технического сервиса (техническое обслуживание, текущий ремонт (зачастую совмещенный с модернизацией), заявочное диагностирование и т.п.), как правило поступает через случайные промежутки времени. Количество обращений может варьироваться в течение года, что связано с сезонностью использования электромобилей, например, зимой количество снижается, так как многие владельцы электромобилей, имея в распоряжение несколько транспортных средств, пересекаются на обычные автомобили с ДВС. Эта сезонность имеет влияние на работу сервисных предприятий, но, ввиду отсутствия достаточных данных этот вопрос здесь рассматриваться не будет. Процессы модернизации, наоборот, будут востребованы в межсезонье, так как потребитель этой услуги будет рассчитывать на начало эксплуатации модернизированной транспортно-технологической машины с началом сезона, например, полевых работ.

Основываясь на подходах к исследованию операций, изложенных в целом ряде учебников [230, 231, 232], взаимные отношения специализированного сер-

висного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей с его клиентами следует рассматривать в виде системы массового обслуживания.

Неравномерные интервалы поступления обращений клиентов приводят как к образованию очереди с вынужденной потребностью ожидания удовлетворения обращения ожиданием, так и к простоем производственно-технической базы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей из-за отсутствия обращений, причем простой предприятия в настоящее время представляется более вероятным, учитывая пока невысокую долю электромобилей в парке автомобилей. Целый ряд исследований, посвященных проблемам технического сервиса транспортно-технологических машин, в том числе мобильных электроагрегатов, указывает, что наиболее эффективным подходом к решению подобных задач является использование методов теории массового обслуживания, что находит подтверждение в нескольких монографиях, диссертациях и научных статьях [191, 4, 233, 219, 234, 235, 236, 94, 97].

Следовательно, обслуживание клиентов специализированным сервисным предприятием технического обслуживания и ремонта электромобилей можно сделать более эффективным если также воспользоваться методами теории массового обслуживания.

Плотность потока обращений клиентов в соответствии с [231] можно определить посредством выражения

$$\lambda = \frac{1}{t_{\Pi}}, \quad (2.18)$$

где t_{Π} – интервал времени между отдельными обращениями клиентов в специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей, ч, день и т.д.

В качестве единицы измерения величины t_{Π} могут быть приняты как часы, так и дни, а если в работе специализированного сервисного предприятия наблюдается так называемый «мертвый сезон», то даже недели.

Интенсивность удовлетворения обращений клиентов специализированным сервисным предприятием технического обслуживания и ремонта электромобилей определяется посредством выражения [231]

$$\mu_1 = \frac{1}{t_{OB}}, \quad (2.19)$$

где t_{OB} – средняя продолжительность удовлетворения одного обращения клиента специализированным сервисным предприятием технического обслуживания и ремонта электромобилей, ч, день и т.д.

Единицы измерения величин $t_{П}$ и t_{OB} следует принимать одинаковыми.

Для выбора наиболее подходящего метода теории массового обслуживания необходимо идентифицировать тип системы обслуживания, точно описывающий производственную ситуацию специализированного сервисного предприятия.

Поскольку прием обращений клиентов специализированным сервисным предприятием технического обслуживания и ремонта электромобилей, как правило, никак не ограничивается, то имеет место разомкнутая система массового обслуживания [231]. При этом, в случае большого количества обращений клиентов в специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей, оно может оказаться полностью загруженным. Если в момент обращения еще одного клиента окажется, что его потребность в услугах не выполнима сразу же, то возможно образование очереди. Ожидание в очереди возможно при наличии готовности клиента ожидать и только при определенной ограниченной ее длине, определяемой физическими возможностями предприятия разместить транспортные средства на территории или в производственном корпусе, исключающей чрезмерно длительное ожидание. Если одно из вышеназванных условий не подтверждается, то клиент уйдет из очереди, следовательно можно будет зафиксировать отказ в удовлетворении обращения. Представленная выше производственная ситуация позволяет сделать вывод что в нашем случае имеет место такая разновидность системы массового обслуживания как разомкнутая с ожиданием и при ограниченной длине очереди.

Развитость производственно-технической базы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей уточняет разновидность системы, так как она может быть одноканальной (при наличии всего одного рабочего поста, оснащенного соответствующим технологическим оборудованием) или многоканальной (при нескольких одинаковых рабочих постах).

Однотипные рабочие посты (имеющее одинаковое технологическое оборудование) специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей работают при полной взаимопомощи, на основе принципа «все как один». При этом клиент сам не выбирает пост на который он попадает, пост определяет мастер-приёмщик по факту, то есть тот у которого очередь меньше или вовсе отсутствует или по заранее определенной схеме расстановки клиентов, если такой способ организации работы предприятия практикуется. Поскольку современные электромобили имеют в целом однотипную конструкцию, то набор запросов на выполнение работ технического обслуживания и текущего ремонта примерно одинаковый.

Принцип «все как один», реализуемый в рамках работы нескольких рабочих постов на принципе полной взаимопомощи, позволяет определять интенсивность удовлетворения обращений клиентов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей, вместо формулы (2.19) по формуле

$$\mu = \frac{n}{t_{OB}}, \quad (2.20)$$

где n – количество рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей;

t_{OB} – продолжительность обслуживания одним рабочим постом одного клиента, ч, день и т.д.

Схема работы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей представлена как одноканальная си-

стема массового обслуживания при ограниченной длине очереди показана на рисунке 2.20.



Рисунок 2.20 – Принципиальная схема взаимодействия специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей с клиентами

Основными показателями, характеризующими эффективность работы и оптимальность обеспеченности производственными площадями и технологическим оборудованием специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей в соответствии с методами теории массового обслуживания следует принять: вероятность простоя всех рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей из-за отсутствия клиентов P_0 ; вероятность отказа в удовлетворении обращений клиентов из-за занятости всех рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей $P_{отк}$; относительную $q_{от}$ и абсолютную q_A пропускные способности рабочих постов специализированного сервисного предприятия я технического обслуживания и ремонта электромобилей; количество обращений клиентов, ожидающих в очереди r_0 и находящихся в обслуживании $r_{об}$; продолжительность

ожидания удовлетворения обращения клиента в очереди $T_{ОЖ}$ и продолжительность обслуживания $T_{ОБ}$.

Расчет показателей, характеризующих эффективность работы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей методами теории массового обслуживания осуществляются с использованием соответствующего модели набора формул [230, 231, 232]

$$P_0 = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha^{m+2}}, \quad (2.21)$$

где $\alpha = \lambda / \mu = t_{ОБ} / t_{П} \cdot n$; m – количество машино-мест для размещения прибывающих клиентов и их транспортных средств на специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей для выполнения работ из номенклатуры, предлагаемой предприятием.

Под P_0 в (2.21) следует подразумевать вероятность отсутствия обращений клиентов в специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей. В этой ситуации специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей и все его рабочие посты простаивают. Значение m в (2.21) соответствует наибольшему возможному количеству машино-мест ожидания. При этом значение m может определяться имеющимися площадями предприятия для размещения машино-мест ожидания для транспортных средств клиентов, они могут быть как в помещениях, так и на открытой площадке.

Если в момент прибытия клиента все рабочие посты специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей заняты обслуживанием ранее принятых обращений, а такой вариант событий возможен при появлении так называемого клиента «от бордюра» с внезапным отказом, и заняты все « m » машино-мест ожидания, то клиент, вероятнее всего, уходит из очереди $P_{ОТК}$. Вероятность этого события определяется по формуле [230, 231, 232]

$$P_{ОТК} = P_0 \cdot \alpha^{m+2} . \quad (2.22)$$

Значения $q_{ОТ}$ в (2.23) и q_A в (2.24) соответствуют относительной и абсолютной пропускным способностям рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей и определяются в соответствии с [230, 231, 232]

$$q_{ОТ} = 1 - P_{ОТК} ; \quad (2.23)$$

$$q_A = \lambda \cdot q_{ОТ} ; \quad (2.24)$$

Под r_0 в (2.25) и $r_{ОБ}$ в (2.26) подразумевается соответственно среднее количество клиентов ожидающих обслуживания в очереди и находящихся в процессе обслуживания на рабочих постах специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей [230, 231, 232]:

$$r_0 = \frac{\alpha^2 \cdot [1 - \alpha^m \cdot (m + 1 - m \cdot \alpha)]}{(1 - \alpha^{m+2}) \cdot (1 - \alpha)} ; \quad (2.25)$$

$$r_{ОБ} = \frac{\alpha - \alpha^{m+2}}{1 - \alpha^{m+2}} . \quad (2.26)$$

$T_{ОЖ}$ в (2.27) и $T_{ОБ}$ в (2.28) соответствуют средней продолжительности ожидания клиентом начала обслуживания его транспортного средства в очереди и продолжительности пребывания на транспортных средствах на рабочих постах на обслуживании [230, 231, 232]:

$$T_{ОЖ} = \frac{r_0}{\lambda} ; \quad (2.27)$$

$$T_{ОБ} = \frac{q_{ОТ}}{\mu} . \quad (2.28)$$

Неприемлемыми для специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей являются высокая вероятность простоя из-за отсутствия обращений клиентов P_0 в соответствии с (2.21), а также высокая вероятность отказа $P_{ОТК}$ из (2.22), так как может быть потеряна часть потенциальной выручки, а с ней и прибыли. Потенциально возможна также потеря

новых и постоянных клиентов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей из-за их ухода к конкурентам.

Для клиента также нежелательно, а иногда и не возможно (например, если транспортное средство было доставлено эвакуатором) покидание специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей не обслуженным, вероятность которого определяется значением $P_{ОТК}$ в (2.22).

Помимо невозможности приема на обслуживание или ремонт, для клиента нежелательна чрезмерно большая продолжительность ожидания в очереди $T_{ОЖ}$ из (2.27) и самого процесса обслуживания $T_{ОБ}$ из (2.28), так как это может свидетельствовать о неготовности специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей работать с транспортным средством клиента по причине отсутствия необходимого оборудования, программного обеспечения или компетенции персонала. Применительно к электромобилям, учитывая их стоимость и сложность, этот фактор может оказаться решающим при выборе места диагностирования, технического обслуживания или текущего ремонта.

Таким образом в качестве критерия, наиболее ярко характеризующего оптимальность работы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей, целесообразно принять минимум суммы вероятностей простоя самого предприятия без клиентов и ухода клиентов не обслуженными при приемлемом значении общей продолжительности ожидания в очереди и продолжительности обслуживания с условием гарантированно правильного и качественного выполнения обращения клиента. Этот критерий оптимальности можно представить в виде

$$P_{ОП} = (P_{О} + P_{ОТК}) \Rightarrow \min, \quad (2.29)$$

$$T_{П} = T_{ОЖ} + T_{ОБ} = \frac{r_{О}}{\lambda} + \frac{q_{ОТ}}{\mu} \leq T_{ПД}. \quad (2.30)$$

Для систем массового обслуживания рассматриваемого типа при всех значениях числа мест m в очереди критерий оптимальности (2.29) удовлетворяется при одном и том же оптимальном значении

$$\alpha_{opt} = \lambda / \mu = t_{OB} / t_{\Pi} \cdot n = 0,99. \quad (2.31)$$

С увеличением возможного числа мест m в очереди имеют место положительные тенденции, связанные с уменьшением вероятности простоя рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей P_O и ухода клиентов не обслуженными P_{OTK} и соответственно их суммы $P_{OПmin} = P_O + P_{OTK}$. Положительным является и рост относительной пропускной способности рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей или доли обслуженных клиентов q_{OT} .

Однако этот рост q_{OT} достигается не за счет повышения уровня организации труда на рабочих постах специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей, а за счет удлинения очереди r_O и роста продолжительности пребывания в очереди $T_{OЖ}$.

Задача при этом состоит в том, что в соответствии с (2.30) продолжительность пребывания клиента в ожидании не должна превышать допустимые пределы $T_{ПД}$. С ростом длины очереди r_O несколько возрастает и число клиентов r_{OB} находящихся на обслуживании на рабочих постах специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Следует отметить, что рост r_{OB} по сравнению с r_O очень мал. Исходя из этого, для простоты решения целесообразно от общего ограничения (2.30) перейти к эквивалентному ограничению

$$T_{OЖ} = \frac{r_O}{\lambda} \leq T_{OЖД}, \quad (2.32)$$

где $T_{OЖД}$ – допустимая продолжительность ожидания клиентом обслуживания своего транспортного средства в очереди, ч, день и т.д.

Условие (2.32) с учетом значения λ из (2.18) примет вид

$$T_{OЖ} = r_O \cdot t_{\Pi} \leq T_{OЖД}. \quad (2.33)$$

Из полученного результата следует, что при заданной интенсивности обслуживания μ наименьшее допустимое значение продолжительности ожидания клиентом обслуживания своего транспортного средства составит

$$T_{OЖ\min} = r_O \cdot t_{\Pi}. \quad (2.34)$$

Величина t_{Π} не зависит от характера работы системы, следовательно для ограничения продолжительности ожидания клиентом обслуживания своего транспортного средства необходимо ограничивать длину очереди с учетом других показателей работы системы. При этом величина t_{Π} зависит от площади зоны обслуживания, количества электромобилей и гибридных автомобилей, принадлежащих индивидуальным владельцам и корпоративным паркам в регионе, и среднего возраста и структуры парка электромобилей, наличия аналогичных по профилю сервисных предприятий и уровня охвата парка электромобилей и гибридных автомобилей их услугами, календарного сезона и времени суток и т.д.

Имея сведения о величинах t_{Π} и $\lambda=1/t_{\Pi}$ из (2.18), а также $\alpha_{opt}=0,99$ из (2.31) можно рассчитать желаемую (или целевую) оптимальную интенсивность удовлетворения обращений клиентов специализированным сервисным предприятием технического обслуживания и ремонта электромобилей

$$\mu_{opt} = \frac{\lambda}{\alpha_{opt}} = \frac{1}{t_{\Pi} \cdot \alpha_{opt}}, \quad (2.35)$$

На основе сведений о значении μ_{opt} , основываясь на (2.20) и (2.31) можно определить оптимальное потребное количество рабочих постов технического обслуживания и ремонта специализированного сервисного предприятия

$$n_{opt} = \mu_{opt} \cdot t_{OB} = \frac{t_{OB}}{t_{\Pi} \cdot \alpha_{opt}}. \quad (2.36)$$

Оснащение технологическим оборудованием рабочего поста, укомплектованность и компетентность рабочего персонала, конструктивные особенности транспортных средств приходящих на обслуживание и наличие соответствующей

им технологической документации и актуальных баз данных с диагностическими и регулировочными параметрами определяют среднюю продолжительность удовлетворения обращения одного клиента одним рабочим постом специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей t_{OB} , которая может меняться в широких пределах, а широкий разброс фактических значений продолжительности говорит о неготовности предприятия оказывать качественные услуги клиентам. Данный факт сам по себе является интересным и предполагает отдельное рассмотрение.

2.7. Выводы по главе 2.

1. Разработанные алгоритмы, определяют порядок организации технологического обеспечения модернизации транспортно-технологических машин, указывая очередность этапов работы, начинающихся с определения будущих технических характеристик модернизируемых транспортно-технологических машин и завершая определением оснащенности специализированных сервисных предприятий и обеспеченности кадровыми ресурсами.

2. Обоснование энергоэффективных параметров модернизируемых транспортно-технологических машин, является многоуровневой задачей, учитывающей технические и экономические критерии оптимальности принятых решений.

3. Разработан комплекс математических моделей, описывающих многоуровневую задачу определения параметров модернизируемой транспортно-технологической машины.

4. Разработана математическая модель определения основных характеристик производственно-технической базы предприятий, осуществляющих работу с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами и тяговыми аккумуляторными батареями для получения на их основе новой продукции, с учетом вероятностного характера производственных процессов и вариации фактического состояния батарей.

Глава 3. Экспериментальные исследования

3.1. Общая концепция экспериментальных исследований

Цель экспериментальных исследований в рамках нашей темы заключалась в проверке разработанных математических моделей, описывающих технологические процессы работы с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами, их компонентами, и в первую очередь с тяговыми аккумуляторными батареями, а также новой продукцией, которую можно изготовить на компонентной базе тяговой аккумуляторной батареи.

Значимым элементом экспериментальной работы является оценка технических характеристик высоковольтной батареи, демонтированной, например, с электромобиля. Сведения о техническом состоянии высоковольтной батареи являются отправной информацией для оценки перспектив продолжения использования высоковольтной батареи по основному назначению (то есть в электромобиле) или по альтернативному назначению (целиком или различными вариантами комплектов из модулей). Экспериментальная работа с высоковольтной батареей позволит оценить ее приспособленность к разборочно-сборочным операциям, обеспечению целостности демонтируемых элементов для потенциального их повторного использования, а также удобство проведения замеров параметров высоковольтной батареи, с выявлением возможных проблем и затруднений, которые могут повлиять на выполнение действий.

Ввиду отсутствия заводских данных (норм времени на выполнение различных элементов технологического процесса), касающихся процессов разборки или сборки высоковольтных батарей даже по самым часто встречающимся моделям автомобилей, что объясняется нежеланием разглашать подобную информацию и установкой, что ремонтные работы вне предприятий, относящихся к товарно-производящей сети компании-производителя выполнять нельзя или не целесообразно. Для достижения поставленной цели было организовано самостоятельное проведение эксперимента в условиях, которые могут быть характерны для специ-

ализированного сервисного предприятия, занимающегося, например, ремонтом электромобилей или высоковольтных тяговых батарей.

Укрупненная схема экспериментальных исследований, включающая несколько этапов, показана на рисунке 3.1.

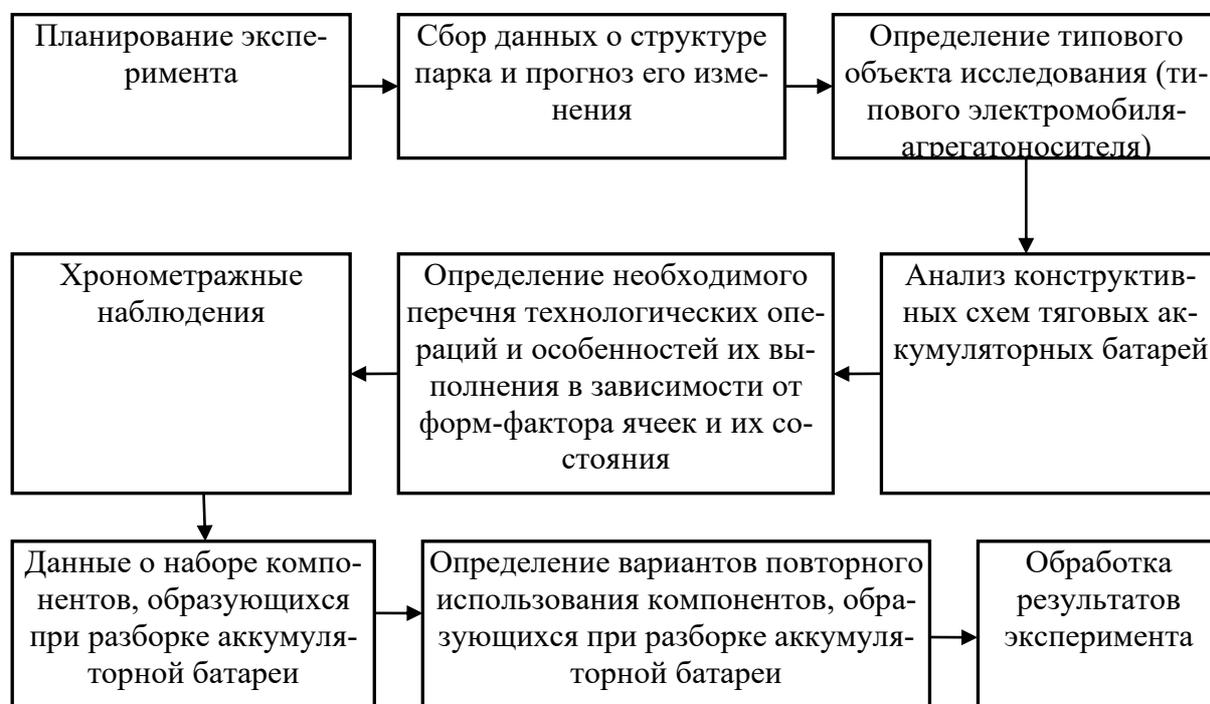


Рисунок 3.1 – Укрупненная схема проведения первого блока экспериментальных исследований

Для выполнения первого блока исследования и, в частности, анализа продолжительности технологических операций с высоковольтной батареей, демонтированной из электромобиля были выполнены следующие шаги.

1. Определена цель манипуляций с высоковольтной батареей. Например, для наших математических моделей определялось среднее время разборки высоковольтной батареей для доступа к ячейкам для замера их характеристик, а также выявлялись наиболее вероятные проблемы, которые могут потребовать дополнительных усилий и времени при выполнении технологического процесса.
2. Определена выборка в рамках которой были выявлены модели электромобилей которые являются наиболее вероятными кандидатами на донорство агрегатами и узлами.

3. Собраны данные по трудоемкости технологических процессов обслуживания и ремонта высоковольтной тяговой батареи из различных источников, например, баз данных производителей электромобилей, отчетов сервисных центров, опросов владельцев электромобилей и т.д.

4. Проведены хронометражные наблюдения для верификации или дополнения данных, собранных в рамках предыдущего шага путем выполнения непосредственных измерений, выполняя действия в порядке, который позволит достичь требуемого результата.

4. Проанализированы данные с выявлением среднего времени разборки высоковольтной батареи как в целом, так и по отдельным элементам, а также и среднего времени определения технического состояния ячеек. Выявлены наиболее часто встречающиеся проблемы при разборке и диагностике, а также зависимость продолжительности работы с высоковольтной батареей от модели электромобиля, пробега или региона его использования при наличии такого влияния и т.д.

5. На основе анализа данных сделаны выводы и рекомендации, например, по механизации трудовых действий исполнителей или по рекомендуемому количеству и квалификации исполнителей, занимающихся с высоковольтной батареей, рекомендации по используемому инструменту и даже требованиям безопасности.

Программа проведения хронометражных наблюдений в рамках нашего исследования включает следующие этапы:

1. Выбор объекта хронометражного наблюдения – определение модели электромобиля (или типа высоковольтной батареи);

2. Разработка плана наблюдения, включающее определение количества наблюдателей и их роли, определение рабочих мест для наблюдения, описание порядка проведения наблюдений

3. Проведение хронометражных наблюдений, включающее наблюдение за процессом разборки и диагностики ячеек высоковольтной батареи, запись времени выполнения каждой операции, контроль качества выполненных работ.

4. Обработка результатов, включающая сбор и анализ полученных данных, и вычисление средних значений времени выполнения операций.

5. Подготовка дополнительных рекомендаций, включающих выделение ошибок и узких мест в работе в процессе разборки высоковольтной батареи, разработку конкретных мер по оптимизации процесса разборки высоковольтной батареи, составление итогового отчета с результатами наблюдения и рекомендациями по улучшению процесса

3.2 Определение объектов агрегатоносителей для модернизации транспортно-технологических машин

Как уже было указано выше, модернизация транспортно-технологической машины будет экономически целесообразна и сможет конкурировать с классическим капитальным ремонтом штатных агрегатов и узлов при условии низкой стоимости требуемых для создания новой конструкции агрегатов и узлов. Разумеется, необходимо обеспечить высокий уровень использования серийных агрегатов, узлов и деталей, чтобы не прибегать к проектированию новых или хотя бы свести ее к минимуму. Повторное использование тяговой батареи или ее элементов позволит существенно сократить стоимость модернизации, так как на батарею и ее системы приходится до 37 % стоимости, а на электродвигатель и контроллеры еще 16 % стоимости потенциальной электрифицированной транспортно-технологической машины. Учитывая, что остальные элементы потенциальной модернизируемой транспортно-технологической машины уже имеются в наличии (кузов и шасси), то первоочередное внимание при сокращении затрат следует уделить тяговой батарее и электродвигателю.

Для выработки подходов к технологическому обеспечению повторного использования тяговых аккумуляторных батарей электромобилей, ориентированных на максимизацию эффекта от такой деятельности предприятия с сохранением максимально возможного перечня и объема вторичных ресурсов, необходимо иметь представление о об объектах, которые могут оказаться в поле зрения предприятия, занимающегося, как правило услугами технического сервиса и специализирующегося на электромобилях.

Считать, что проблемами повторного использования будет заниматься предприятие-переработчик вторичного сырья совершенно неправильно. Вероятней всего не будет заниматься этим и предприятия-представители компаний-производителей, так как у них стоит совершенно другая задача – максимизация прибыли от реализации новых изделий. То есть для условий нашей страны мы будем иметь дело с независимыми специализированными сервисными предприятиями, оказывающими услуги по диагностированию и ремонту электромобилей и гибридных автомобилей. Поскольку марочный состав обслуживаемых электромобилей принципиально влияет на подходы к их обслуживанию и ремонту следует определить тот самый «типовой» электромобиль парка. Анализ текущего состояния парка «типовых» электромобилей принципиально влияет на перечень оказываемых его владельцам услуг и дополнительно влияет на номенклатуру компонентов, которые выбывают при выполнении работ и, опосредованно, на состав получаемого при переработке вторичного сырья и возможность повторного использования компонентов или их восстановления для использования по основному или альтернативному назначению [237, 238, 239].

Для определения объектов экспериментальных исследований следует обратиться к статистике продаж электромобилей, как новых, так и подержанных, представленных в пункте 1.2 диссертации.

Всего десять лет назад, в 2013 году, на рынке в России было доступно всего шесть моделей электромобилей и количество их продаж исчислялось единицами экземпляров [240]. Фактически рынок электромобилей стал формироваться только с 2016 года, когда количество ввезенных подержанных электромобилей превысило 300 экземпляров (рисунок 3.2) причем это было более чем в три раза больше чем новых. Наиболее популярной моделью среди подержанных электромобилей стал Nissan Leaf, заняв сразу две трети рынка, к 2020 году он безоговорочно доминировал с долей в 93 %. Однако, с появлением большого количества новых марок и моделей не только среди новых электромобилей, но и подержанных, зачастую более привлекательных по цене или уровню комфорта, ажиотаж вокруг этой модели уменьшился – в 2023 её доля составила немногим более 60 процентов, по-

что как и при начале продаж. Суммарные объемы продаж Nissan Leaf с начала ввоза в Россию достигли более 29000 экземпляров, при этом в парке числится около 15500 электромобилей, то есть половина ввезенных транспортных средств уже выбыла из эксплуатации [241], но даже несмотря на это за одной моделью сохраняется 30 % парка электромобилей. Для сравнения ближайшими моделями по количеству являются Zeekr001 – 5700 экземпляров, Tesla Model 3 – 2600, Evolute i-Pro – 2200. Следует отметить, что разброс этих моделей по срокам службы весьма разнообразен, у Nissan Leaf – 15 лет, Tesla Model 3 – 8 лет, Zeekr001 – 3 года, Evolute i-Pro – 2 года (хотя прототип этого электромобиля Dongfeng Fengshen A60EV может иметь возраст 8 лет, однако в России он не представлен).

Учитывая высокие темпы роста объемов продаж новых и подержанных электромобилей, можно наблюдать интенсивный рост численности парка автомобилей в Российской Федерации, причем в 2023 году кратный. Следует отметить, что из 50600 электромобилей [241] в парке страны почти 15500 тысяч приходится на одну модель – Nissan Leaf, что автоматически делает ее «типовым электромобилем парка».

Самый популярный в России электромобиль Nissan Leaf стал первым в мире по-настоящему массовым электромобилем. Его представили в 2009 году, а в 2010 начали серийное производство [242]. Nissan Leaf официально имеет два поколения. Первое поколение имеет кузов с обозначением ZE0 (рисунок 3.3). Его конструкция уже стала классической по сегодняшним меркам, но для 2010 года она была инновационной. Тяговая батарея электромобиля емкостью 24 кВт·ч была расположена под днищем, привод на переднюю ось осуществлялся только от электромотора мощностью 109 лошадиных сил. По заявлениям производителя такие характеристики обеспечивали запас хода на одном заряде порядка 160 километров.

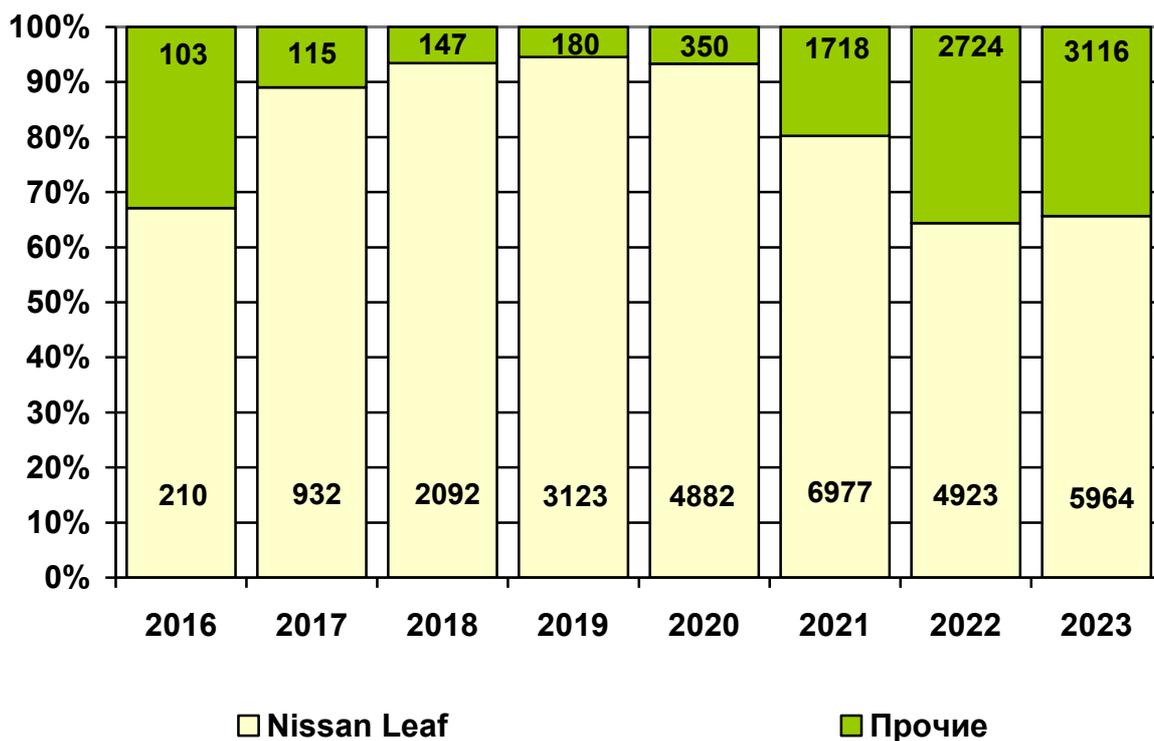


Рисунок 3.2 – Структура продаж подержанных электромобилей Nissan Leaf в сравнении с остальными электромобилями, шт

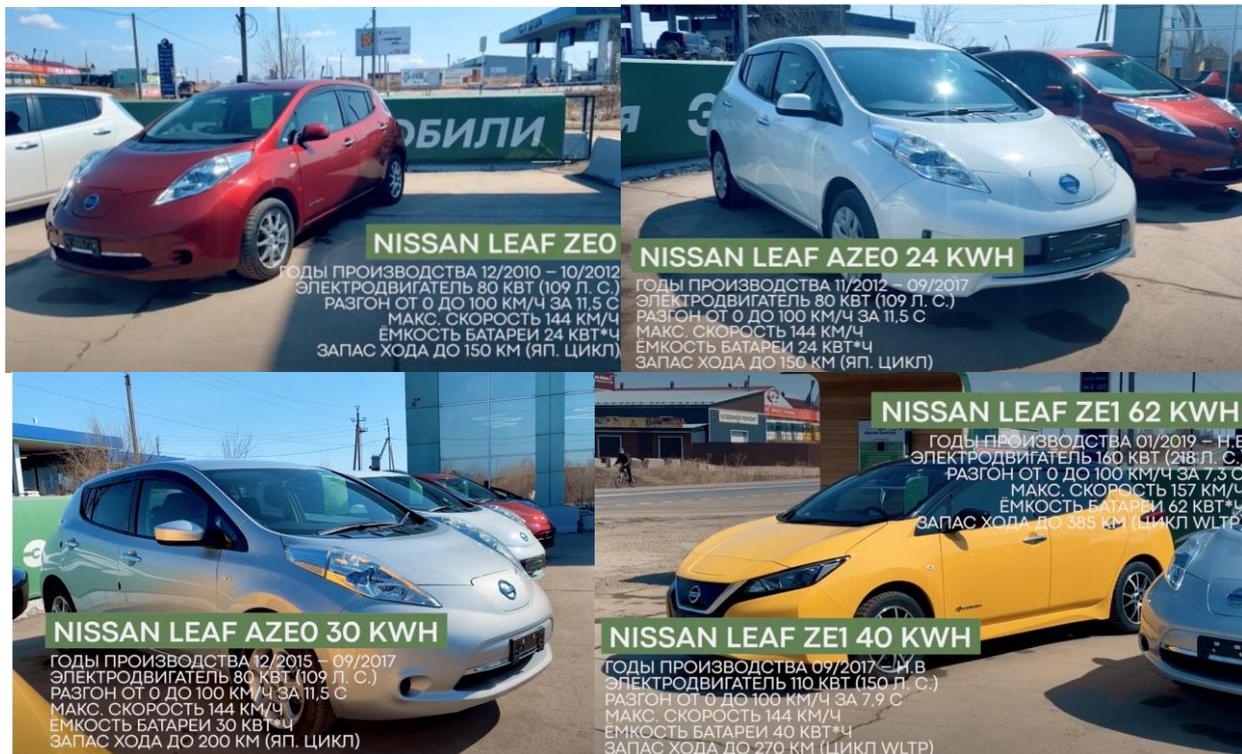


Рисунок 3.3 – Основные варианты электромобиля Nissan Leaf [243]

Автомобиль сразу стал очень популярным и разошелся по всему миру очень большим тиражом. Эта машина получилась достаточно надежной, хотя и не лишённой некоторых конструктивных недостатков. К ним можно отнести выходящие из строя жидкостный отопитель салона, низкий уровень рекуперации, а также частые выходы из строя зарядного инвертора. В силу ограничений в развитии электроники в период разработки модели инженерам Nissan не удалось расположить зарядный инвертор в каком-то другом месте, кроме багажного отделения. Из-за этого пришлось к нему прокладывать довольно длинный трубопровод для охлаждения. При малейшей неисправности в системе охлаждения инвертор грелся и в конце концов выходил из строя. Такие случаи и сейчас, к сожалению, не редкость, а ремонт вышедшего из строя инвертора недешев и обходится от 40 до 75 тысяч рублей в ценах 2023 года.

В конце 2012 года Nissan сделал большую работу над ошибками и появилась модифицированная версия Nissan Leaf первого поколения с индексом кузова AZE0. Электромотор в этом автомобиле сохранил мощность на уровне 109 л.с., хотя его конструкция была усовершенствована. Емкость высоковольтной батареи осталась также прежней – 24 кВт·ч, но несмотря на это запас хода на одной зарядке стал больше, чем у предшественника за счет оптимизации всех электронных и механических систем автомобиля. Зарядный инвертор был перенесен из задней части автомобиля в подкапотное пространство, а его конструкция была серьезно переработана. Протяженность трубопроводов охлаждения зарядного инвертера была существенно сокращена, благодаря чему стабильность работы системы существенно повысилась, а количество отказов инвертера практически сократилось до нуля. В качестве отопителя салона был предложен воздушный теплообменник, представляющий, по сути, спираль, которая нагревает проходящий через нее воздух. Это оказалась очень простая и очень надежная конструкция, позволившая почти полностью исключить проблемы с отоплением салона у Nissan Leaf AZE0. Также отопитель был дополнен тепловым насосом. Тепловой насос – это возможность штатного кондиционера, который есть в любом Nissan Leaf, работать не только на охлаждение, но и на нагрев. Эта опция позволяет

очень сильно экономить заряд батареи при температурах наружного воздуха от минус 5°C до + 5°C, так как в межсезонье можно использовать кондиционер в реверсивном режиме на обогрев. Когда становится холоднее, включается воздушный отопитель, а он уже потребляет больше энергии. Переход от одного способа отопления к другому происходит незаметно для пользователя в автоматическом режиме и понять, в каком режиме сейчас работает климатическая установка, можно только по расходу энергии.

Также Nissan Leaf AZE0 получил режим работы силовой установки «В», предполагающий повышенную рекуперацию, чтобы машина больше возвращала энергии от торможения, соответственно имела больше запас хода в сравнении с предшественником. В 2015 году появляется рестайлинговая версия автомобиля Nissan Leaf AZE0 с емкостью тяговой батареи увеличенной до 30 кВт·ч, обеспечивающей запас 200 километров на одном заряде.

В 2017 году выходит в свет второе поколение Nissan Leaf с индексом кузова ZE1. Это глубоко переработанная AZE0, с очень существенными изменениями, которые коснулись дизайна и интерьера, а также всей компонентной базы. Электромобиль получил сразу два варианта более емких батарей на 40 кВт·ч и 62 кВт·ч, а также более мощный электродвигатель (почти 150 лошадиных сил). Электромобиль получил систему «е-педаль», позволяющую управлять одной педалью, то есть без использования педали тормоза. При необходимости замедлиться, можно просто отпустить педаль газа, и чем сильнее она отпущена, тем сильнее машина замедляется вплоть до полной остановки. Сейчас эта опция стала почти стандартной на всех современных электромобилях. Автомобиль последнего поколения является самым экономичным во всей линейке Nissan Leaf, благодаря оптимизированным системам управления батареей и электродвигателем, что положительно сказывается на его запасе хода. Эта машина может проехать до 270 км в городском режиме.

Большинство электромобилей Nissan Leaf были ввезены в Россию подержанными, причем чаще всего это были экземпляры с продолжительностью эксплуатации от трех до пяти лет и диапазоном пробега с начала эксплуатации от

33000 до 60000 км (рисунок 3.4). Параметр, отвечающий за ресурс батарей – State of Health (SOH) варьировался в диапазоне от 90 до 80 %. При этом по мнению производителей уровень 80 % является границей эффективного использования батареи на электромобиле (рисунок 3.5).

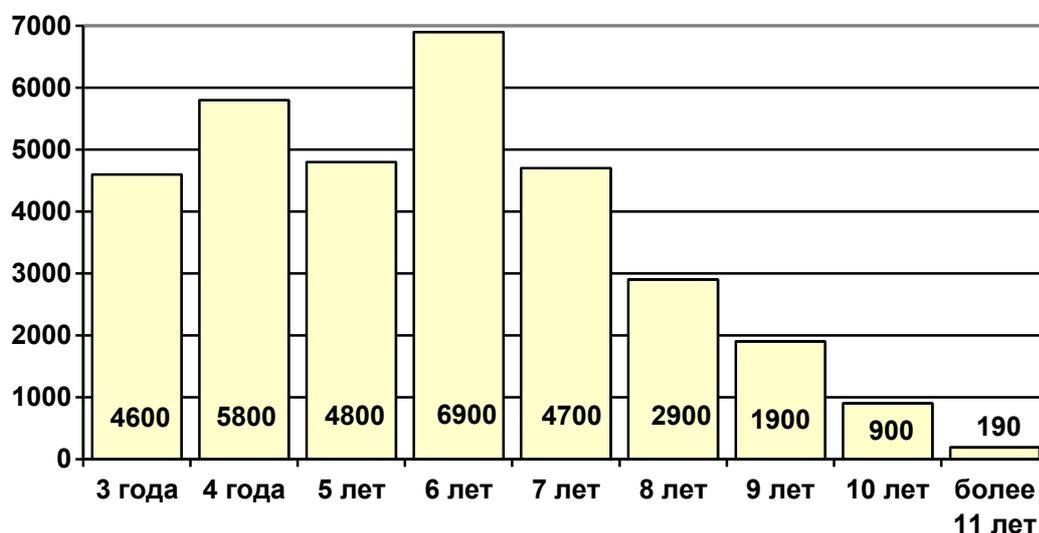


Рисунок 3.4 – Примерное распределение подержанных электромобилей Nissan Leaf по возрасту, шт.

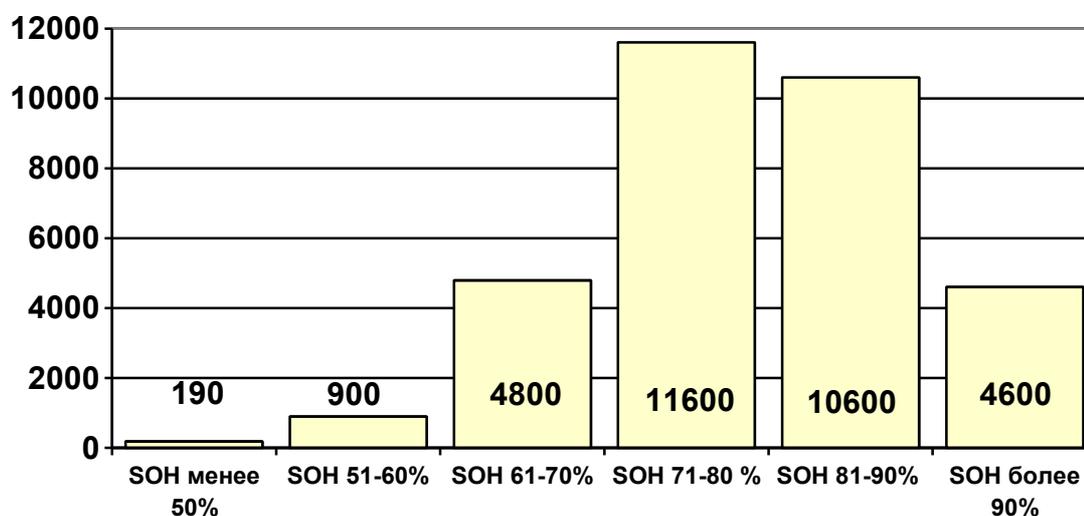


Рисунок 3.5 – Примерное распределение тяговых аккумуляторных батарей электромобилей Nissan Leaf по параметру «State of Health» (SOH), шт.

В российских условиях электромобиль эксплуатируется до уровня SOH около 60 %, редко до 30 % так как запас хода становится слишком маленьким, после чего батарея меняется в сборе на подержанную, обязательно от такой же модели, но более свежую, или проходит капитальный ремонт с заменой ячеек. Те-

кущее состояние парка тяговых аккумуляторных батарей характеризуется подавляющим доминированием батарей, требующих внимания (SOH 60-80%) – 50,2 %, еще 3,3 % находятся в критическом состоянии, то есть в ближайшие два-три года возникнет потребность в списании или ремонте более 15000 батарей, причем заменить батарею в сборе, позаимствовав с относительно новых электромобилей не получится из-за существенного отличия в конструкции. Специфика батареи заключается в том, что она не может долго лежать и ожидать, когда будет востребована, а соответственно замена в сборе будет не возможна по мере старения модели. Вероятно, именно этим фактом объясняется выбытие из парка почти половины ввезенных подержанных электромобилей Nissan Leaf.

3.3. Конструктивные исполнение высоковольтных аккумуляторных батарей и ячеек

Высоковольтные батареи имеют различное исполнение и зависит оно от подходов компании-производителя к проектированию самого электромобиля. Если в основе технологической платформы автомобиля находится платформа, изначально, разработанная для автомобиля с ДВС, а так было принято в 2000-х годах, то конфигурация корпуса будет сложная, если электромобиль разрабатывался на базе собственной технологической платформы, то конструкция корпуса батарей будет иметь простую форму, как правило, призматическую, сочетающуюся с нишей в кузове электромобиля.

Если проанализировать разнообразие ячеек, составляющих основу высоковольтных батарей различных видов электротранспорта, то можно выделить несколько классифицирующих критериев. Первым из которых считается разновидность используемого электролита. Самым распространенным считаются литий-никель-марганец-кобальт-оксидный аккумулятор (NMC). первое серийное применение в электромобилях этого типа батарей относится примерно к 2011-2012 году на BMW ActiveE, а с 2013 года - в BMW i8. По имеющимся сведениям на 2020 год список электромобилей с аккумуляторами NMC включал такие ши-

роко известные модели как Audi e-tron, BMW i3, BYD Юань EV, Шевроле Болт, Хендай Кона Электрик, Ягуар I-Pace, Jiangling Motors JMC E200L, NIO ES6, Nissan Leaf S Plus, Renault ZOE, Roewe Ei5, Škoda Enyaq iV, VW e-Golf и VW ID.3. Уже к 2018 году в Китае, крупнейшем в мире рынке аккумуляторных электромобилей, было произведено около трех миллионов электромобилей. При анализе типа применяемых на моделях ячеек можно сделать вывод, что 77 % от общей емкости аккумуляторных батарей этих автомобилей приходилось на NMC [245, 246]. Немногие производители электромобилей не используют NMC в своих тяговых аккумуляторах. Основным исключением является Tesla, поскольку Tesla использует аккумуляторы NCA.

Основными производителями аккумуляторных литий-никель-кобальт-алюминий-оксидных батарей NCA являются Panasonic и еще несколько японских и корейских компаний. Tesla является партнером Panasonic и поэтому Tesla использует NCA в качестве активного материала в высоковольтных аккумуляторных батареях своих электромобилей, в частности в моделях Tesla Model 3 и Tesla Model X. В электромобилях Tesla с 2019 года по мере развития сотрудничества с китайскими производителями аккумуляторных батарей наряду с NCA стали альтернативно использоваться, оксид лития-никеля-марганца-кобальта NMC.

Еще одним типом литий-ионных аккумуляторных батарей, достаточно широко известных по применению на электротранспорте являются литий-железо-фосфатные аккумуляторы. В десятку ведущих производителей литий-железо-фосфатных (LFP) аккумуляторов на 2021 год входили CATL, LG Chem, Panasonic, BYD, SK Innovation, Samsung SDI и ряд других компаний [244]. Большинство компаний, выпускающих литий-железо-фосфатных (LFP) аккумуляторы, делают их цилиндрическими, для создания сборок, которые используются в стартерных или тяговых аккумуляторных батареях по индивидуальному заказу, а также для реновации старых батарей. В отличие от них компания Winston Battery Ltd (бывшая Thunder Sky Ltd) из Китая производит крупногабаритные призматические элементы, которые известны нам по электробусам и автомобилю Лада Эллада, а также более поздним разработкам Волжского автомобильного завода.

Вторым классификационным признаком является так называемый форм-фактор ячейки, используемой в аккумуляторной батарее.

Наиболее массово представлен цилиндрический корпус, он широко применяется во всех типах аккумуляторных батарей, включая высоковольтные электро-мобильные. Однако перспектив дальнейшего массового применения этого типа аккумулятора именно в электромобилях нет из-за существенного недостатка – он занимает много места (таблица 3.4).

В отличие от цилиндрических, призматические корпуса аккумуляторов тоньше, поэтому подходят для формирования относительно компактных при тех же характеристиках сборок аккумуляторов. Однако и у них есть существенные недостатки. Из-за наличия корпуса они дороже в изготовлении, корпус делает батарею тяжелее аналогов, а также корпус требует дополнительного объема для аккумуляторной сборки в готовом изделии (таблицы 3.2, 3.3, 3.5).

Очевидно, именно корпус аккумулятора делает сборки из них громоздкими и тяжелыми, именно из-за этого стало массовым применение так называемых «пакет-ячеек», то есть мягких корпусов аккумулятора. По форме они похожи на призматические, но в отличие от них не отягощены корпусом, что делает компактнее и легче при тех же характеристиках аккумулятора. Их недостатком считается недостаточная безопасность и долговечность, отсутствие корпуса не препятствует возможному вздутию и последующему разрушению, однако, для этого типа аккумулятора легче организовать охлаждение или нагрев для поддержания оптимальной температуры (таблица 3.1).

Возможность сэкономить на производстве аккумуляторов при одновременной возможности снизить массу всего аккумуляторного блока привело почти всех производителей электромобилей к этому типу ячеек, например, один из самых массовых электромобилей Nissan Leaf использует это решение (рисунок 3.6).

Таблица 3.1 – Характеристики электромобиля-агрегатоносителя Nissan Leaf ZE0

Модель электромобиля		Nissan Leaf ZE0
Производитель батареи	AESC	Общий вид электромобиля 
Форм-фактор ячейки	пакет-ячейка	
Емкость батареи, кВт·ч	24	Расположение батареи 
Номинальное напряжение, В	360	
Количество модулей, шт.	48	Расположение модулей 
Количество ячеек в модуле, шт.	4	
Общее количество ячеек, шт.	192	Общий вид ячейки 
Пробег на одной зарядке, км	175	
Общий вес тяговой батареи, кг	300	

Таблица 3.2 – Характеристики электромобиля-агрегатоносителя Mitsubishi i-MiEV

Модель электромобиля		Mitsubishi i-MiEV
Производитель батареи	GS Yuasa	Общий вид электромобиля 
Форм-фактор ячейки	призматическая	
Емкость батареи, кВт·ч	16	Расположение батареи 
Номинальное напряжение, В	330	
Количество модулей, шт.	10 (большие) 2 (малые)	Расположение модулей 
Количество ячеек в модуле, шт.	8 (в большом) 4 (в малом)	
Общее количество ячеек, шт.	88	Общий вид ячейки 
Пробег на одной зарядке, км	160	
Общий вес тяговой батареи, кг	200	

Таблица 3.3 – Характеристики электромобиля-агрегатоносителя BMW i3

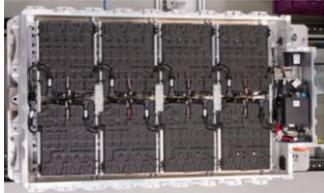
Модель электромобиля		BMW i3
Производитель батареи	Samsung SDI	Общий вид электромобиля 
Форм-фактор ячейки	Призматическая	
Емкость батареи, кВт·ч	18,8	Расположение батареи 
Номинальное напряжение, В	360	
Количество модулей, шт.	8	Расположение модулей 
Количество ячеек в модуле, шт.	12	
Общее количество ячеек, шт.	96	Общий вид ячейки 
Пробег на одной зарядке, км	190	
Общий вес тяговой батареи, кг	230	

Таблица 3.4 – Характеристики электромобиля-агрегатоносителя Tesla Model S

Модель электромобиля		Tesla Model S
Производитель батареи	Panasonic/Sanyo	Общий вид электромобиля 
Форм-фактор ячейки	цилиндрические	
Емкость батареи, кВт·ч	17,7	Расположение батареи 
Номинальное напряжение, В	402	
Количество модулей, шт.	16	Расположение модулей 
Количество ячеек в модуле, шт.	444	
Общее количество ячеек, шт.	7104	Общий вид ячейки 
Пробег на одной зарядке, км	400	
Общий вес тяговой батареи, кг	600	

Таблица 3.5 – Характеристики электромобиля-агрегатоносителя Evolute i-Pro

Модель электромобиля		Evolute i-Pro
Производитель батареи	Sunwoda	Общий вид электромобиля 
Форм-фактор ячейки	призматическая	
Емкость батареи, кВт·ч	52,5	Расположение батареи 
Номинальное напряжение, В	352	
Количество модулей, шт.	10 (большие) 9 (малые)	Расположение модулей 
Количество ячеек в модуле, шт.	6 (в большом) 4 (в малом)	
Общее количество ячеек, шт.	96	Общий вид ячейки 
Пробег на одной зарядке, км	430	
Общий вес тяговой батареи, кг	346	

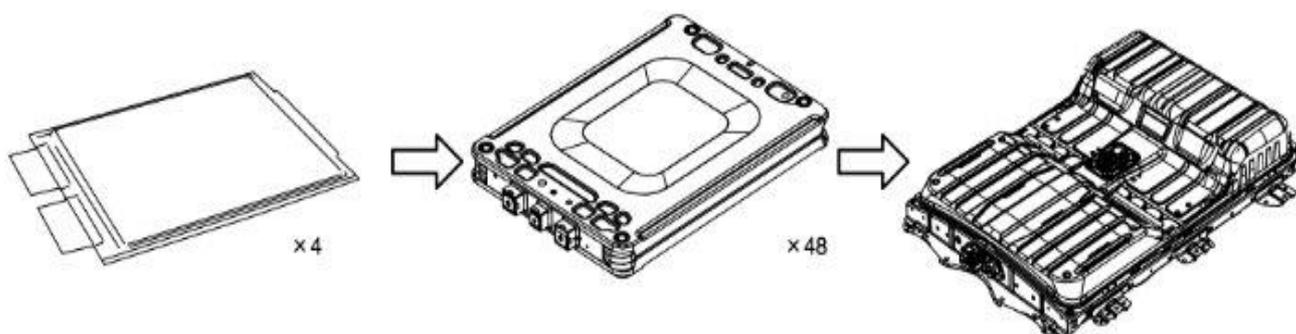


Рисунок 3.6 – Модуль батареи электромобиля Nissan Leaf [248, 249]

3.4. Определение разборочных групп высоковольтной тяговой батареи

Большинство современных транспортных средств в мире в настоящее время проектируются на основе так называемых «модульных технологических платформ», это позволяет удешевить процесс проектирования и испытаний, а также в

максимально сжатые сроки выводить новые модели на рынки. Электромобили, разумеется, полностью подтверждают эту практику. Например, хорошо известна технологическая модульная платформа «E-GMP» электромобилей Hyundai и KIA [257], «MEB» – концерна Volkswagen, «eVMP» – концерна PSA, «CMF-EV» (AmpR Medium) альянса Renault-Nissan-Mitsubishi, «e-platform» компании BYD и другие. Для таких электромобилей характерна особая конструкция кузова, предполагающая интеграцию корпуса высоковольтной тяговой батареи в силовой каркас, а также формирование стандартизированных требований к размерам высоковольтных батарей и к используемым ячейкам. Например, для безкорпусных литий-ионных «пакет-ячеек», используемых в современных электромобилях, стал применяться стандарт VDA355, предполагающий типовой размер ячейки, имеющей размеры 303×100×12,3 мм [252, 254]. Такой формат ячейки под индексом 123100302E1, запланирован к производству на готовящейся к запуску в 2025 году гигафабрике по производству накопителей «RENERA-ROSATOM» (рисунок 3.7) [253]. На базе ячейки этого формата уже предлагаются готовые батарейные модули, например, «ЕСОМЕТА», включающие 12 ячеек, имеющие различные характеристики, подходящие как для электромобилей, так и для других транспортных средств. Например, ME120-022 (конфигурация 2P6S, номинальное напряжение 22,2 В, номинальная емкость 120 А·ч), ME180-014 (конфигурация 3P4S, номинальное напряжение 14,8 В, номинальная емкость 180 А·ч), ME600-044 (конфигурация 1P12S, номинальное напряжение 44,4 В, номинальная емкость 60 А·ч) [254]. Само происхождение ячейки под индексом 123100302E1 зарубежное, так как разработана она и производится под наименованием ETI123100302E60A в Южной Корее компанией Enertech International Inc. [255], практически полностью поглощенной «Росатомом» для получения доступа к готовой технологии производства ячеек.

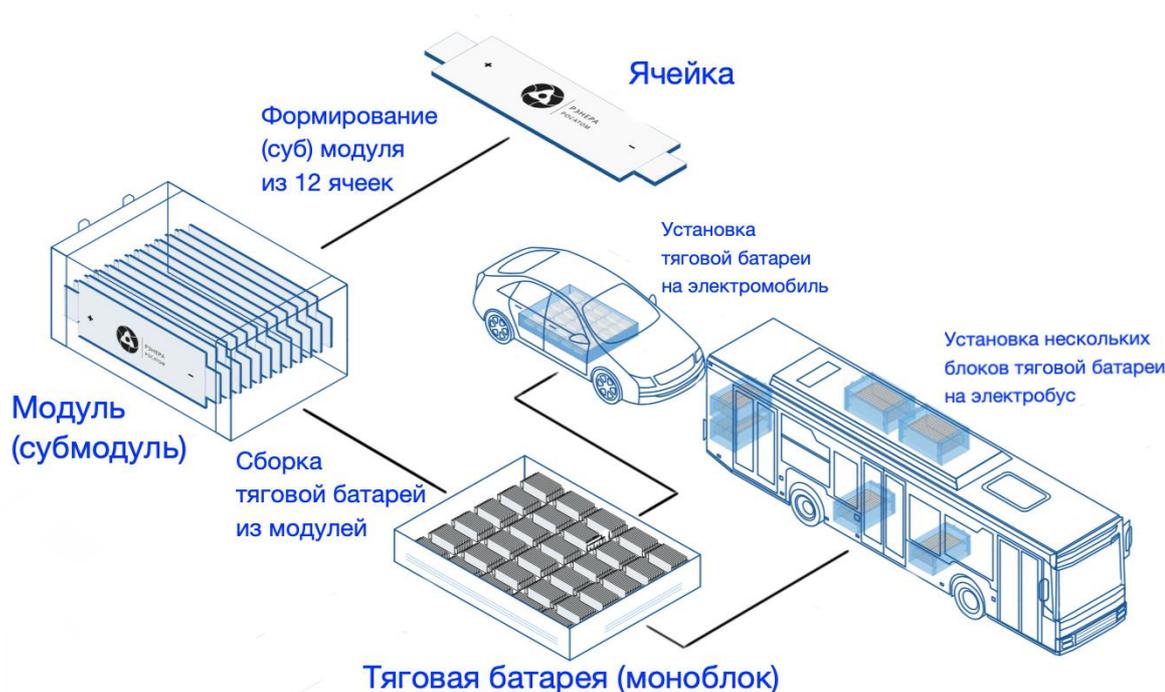


Рисунок 3.7 – Схема комплектования высоковольтной тяговой батареи из ячеек «RENERA-ROSATOM»

Таким образом, для проведения эксперимента необходим объект, оснащенный наиболее типичным и перспективным вариантом высоковольтной аккумуляторной батареи. Для проведения экспериментальной работы были использованы возможности лаборатории диагностики и ремонта электромобилей кафедры «Тракторы и автомобили» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, созданной еще в 2009 году для проведения исследований по электромобильной тематике [250, 251], модернизированной в 2019 году с оснащением учебно-тренировочным комплексом «Электромобиль» на базе электромобиля Лада Эллада от компании ИЦ «Smart» [258]. В 2022 году при расширении лаборатории в дополнении к учебно-тренировочному комплексу сконструирован учебный стенд-тренажер «Электромобиль» ставший основой экспериментальной базы.

3.5. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка, разработанная в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (заявка № 2024131685 «Комплект учебных стендов-тренажеров для изучения конструкции агрегатов и узлов электромобиля»), авторы: Бисенов М.К.,

Митягин Г.Е., Пуляев Н.Н., Андреев О.П., Егоров Р.Н., Пильщиков В.Л.) представляет собой комплект стендов-тренажеров и содержит основные агрегаты и узлы электромобиля, относящиеся к высоковольтной системе электрооборудования, определяющие его работоспособность в процессе эксплуатации и требующие регулярного планового технического обслуживания, а также непланового текущего ремонта. Комплект стендов-тренажеров имеет ценность для экспериментальной работы так как при его разработке были использованы серийные элементы электромобиля к которым был организован неограниченный доступ для отработки элементов технологических процессов технического обслуживания и текущего ремонта, требующих демонтажа агрегатов или узлов для их осуществления, Комплект стендов-тренажеров использовавшийся при проведении экспериментов может формировать одно рабочее место, но при необходимости может образовать несколько рабочих мест путем разделения комплекта на отдельные стенды-тренажеры.

Создание оригинального стенда-тренажера потребовалось по итогам анализа всех стендов, представленных на российском рынке оборудования. Известно несколько вариантов стендов для изучения конструкции электромобилей, а также их агрегатов и узлов.

Только две компании, ООО НПО «Учтех-ПРОФИ» (Российская Федерация, г. Челябинск) и УП «НТП «Центр» (Республика Беларусь, г. Могилев) предлагают несколько вариантов лабораторных стендов для изучения конструкции и эксплуатационных свойств электромобилей, а также изучения оборудования для заряда электромобилей:

1) ООО НПО «Учтех-ПРОФИ»:

- лабораторный стенд «Модель электромобиля» [259];
- лабораторный стенд «Изучение тяговых аккумуляторов электромобилей» [260];
- исследовательский стенд «Вентильный двигатель» [261];
- стенд-планшет «Двигатель постоянного тока» СП-ЭД-ДПТ [262];
- стенд-планшет «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» СП-ЭД-АДКР [263];

- стенд-планшет «Вентильный двигатель» СП-ЭД-В [264];
 - лабораторный стенд «Мотор колесо» МК [265];
- 2) УП «НТП «Центр» (Республика Беларусь, г. Могилев):
- учебный лабораторный стенд НТЦ-15.51 «Аккумуляторная батарея» [266];
 - учебный лабораторный стенд НТЦ-15.53 «Бортовая система управления электромобилем» [267];
 - учебный лабораторный стенд НТЦ-15.54 «Разрезная модель синхронного двигателя» [268];
 - учебный лабораторный стенд НТЦ-15.55 «Разрезная модель мотор-колеса» [269];
 - учебный лабораторный стенд НТЦ-15.56 «Разрезная модель блока управления двигателя электромобиля» [270];
 - учебный лабораторный стенд НТЦ-15.57 «Разрезная модель аккумуляторной батареи» [271];
 - учебный лабораторный стенд НТЦ-15.52 «Зарядное устройство» [272].

Все лабораторные стенды от компаний ООО НПО «Учтех-ПРОФИ» и УП «НТП «Центр» имеют стационарное напольное или настольное исполнение. Исполнены стенды либо в виде моноблока, либо в виде планшета, формируют одно рабочее место. Назначение лабораторных стендов ООО НПО «Учтех-ПРОФИ» и УП «НТП «Центр» заключается в изучении конструкции агрегатов и узлов, использующихся в электромобилях, а также проведении исследований и испытаний, оптимизации их характеристик и конструкции.

Недостатком такого подхода к организации изучения конструкции электромобиля с точки зрения технической эксплуатации является отсутствие реального контакта с серийными агрегатами и узлами электромобиля, необходимого для восприятия реальных массовых и габаритных характеристик и невозможность практической отработки навыков выполнения технологических процессов технического обслуживания или ремонта электромобиля, отсутствие вариативности в формировании рабочих мест.

Другой подход к организации материально-технического обеспечения процесса изучения конструкции и приемов обслуживания электромобилей предложен компанией УП «НТП «Центр» (Республика Беларусь, г. Могилев) где за основу стенда, состоящего из двух частей, взят серийный электромобиль у которого выполнены функциональные разрезы элементов кузова (крыша, двери, капот) и высоковольтной батареи, которые позволяют изучить устройство ходовой части электромобиля (элементы передней и задней подвески), устройство высоковольтной батареи (расположение модулей питания внутри высоковольтной батареи), устройство подкапотного пространства (расположение жгутов и элементов электрооборудования, силового агрегата, системы кондиционирования и нагрева, системы торможения, блока управления зарядом высоковольтной батареи). Вторая часть стенда представляет собой блок ввода неисправностей выполненный в виде стенда, имеющего напольное исполнение. УП «НТП «Центр» в качестве основы стенда использует две модели электромобилей, снятые с производства компаниями-производителями:

- Nissan Leaf ZE0 (стенд НТЦ-15.50 «Электромобиль Nissan») [273];
- BMW i3 (стенд НТЦ-15.50.1 «Электромобиль BMW i3») [274] и стенд НТЦ-15.50.2 «Электромобиль BMW i3 (Wi-Fi)» [275].

Аналогичный вариант материально-технического обеспечения предложен компанией ООО НПО «Учтех-ПРОФИ» где за основу стенда, состоящего из двух частей, взят серийный электромобиль Nissan Leaf ZE0 без каких либо изменений, позволяющих наглядно изучить конструкцию, дополненный персональным компьютером предназначенным для снятия параметров агрегатов и узлов электромобиля посредством специализированного программного обеспечения (стенд «Рабочая модель электромобиля Nissan Leaf») [276].

Недостатком такого подхода к материально-техническому обеспечению учебного процесса является необходимость наличия полнокомплектного электромобиля, формирование только одного рабочего места, а также необходимость в специализированной аудитории, допускающей въезд в нее транспортного средства,

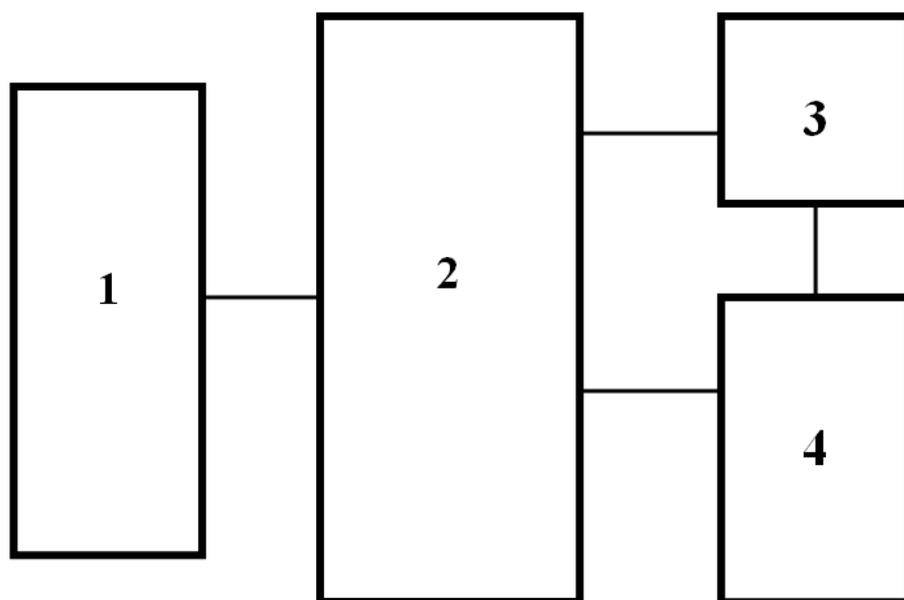
и обеспеченной подъемно-осмотровым оборудованием (автомобильный подъемник с грузоподъемностью не менее 3 тонн), чего в нашем распоряжении не было.

Задачей нашего комплекта стендов-тренажеров является, помимо повышения наглядности и эффективности изучения конструкции наиболее сложных агрегатов и узлов электромобиля, обеспечение возможности отработки и закрепления навыков выполнения основных видов работ по техническому обслуживанию и ремонту высоковольтной системы электромобиля, применяя серийное технологическое оборудование и инструмент с фиксированием продолжительности выполнения этих действий.

Комплект стендов (рисунок 3.8), выполнен в виде трех стендов-тренажеров, соответствующих конструкции высоковольтной системы современного электромобиля, соединенных серийными элементами проводки в защитном исполнении.

Каждый стенд-тренажер из комплекта имеет отличное от других конструктивное исполнение и может применяться как отдельно, так и в составе комплекта стендов-тренажеров. С этой целью стенды-тренажеры, входящие в комплект, оснащены смонтированными на опорах опорно-поворотными колесами с тормозом-фиксатором, позволяющие перемещать стенд в любую часть учебной лаборатории.

Стенд-тренажер «Высоковольтная аккумуляторная система» (рисунок 3.9) предоставляет возможность отработки и закрепления навыков выполнения основных видов работ по техническому обслуживанию и ремонту агрегатов и узлов расположенных в средней части электромобиля (под кузовом). На диэлектрическом основании стенда-тренажера неподвижно закреплен корпус высоковольтной батареи в котором при помощи штатного крепежа закреплены и соединены между собой штатными элементами проводки компоненты высоковольтной батареи. Имеет размеры 1800×1500 мм, высота расположения рабочей поверхности 950 мм.

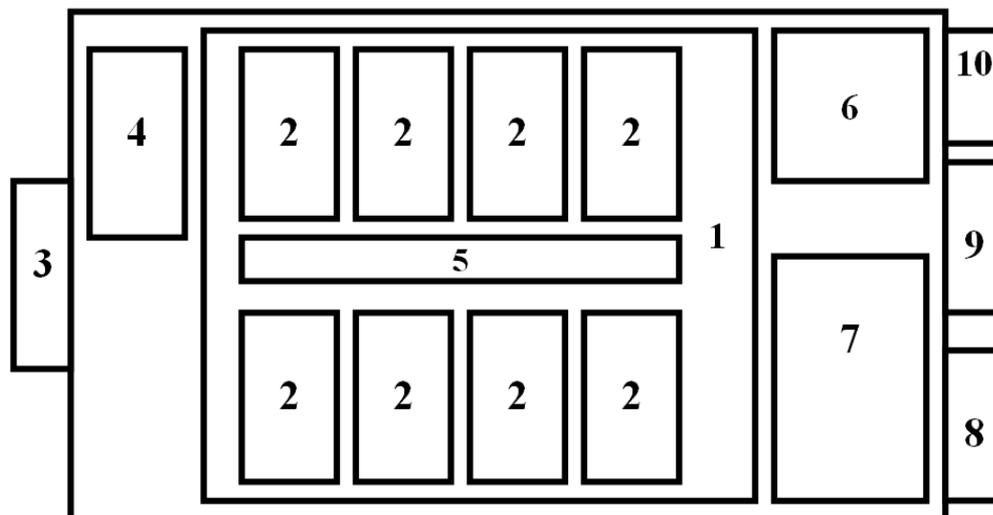


а



б

Рисунок 3.8 – Комплект стандов-тренажеров: а – схема: 1 – станд-тренажер «Передняя высоковольтная система» (1 мобильный блок); 2 – станд-тренажер «Высоковольтная аккумуляторная система»; 3, 4 – станд-тренажер «Задняя высоковольтная система» (2 мобильных блока), б – общий вид.



а

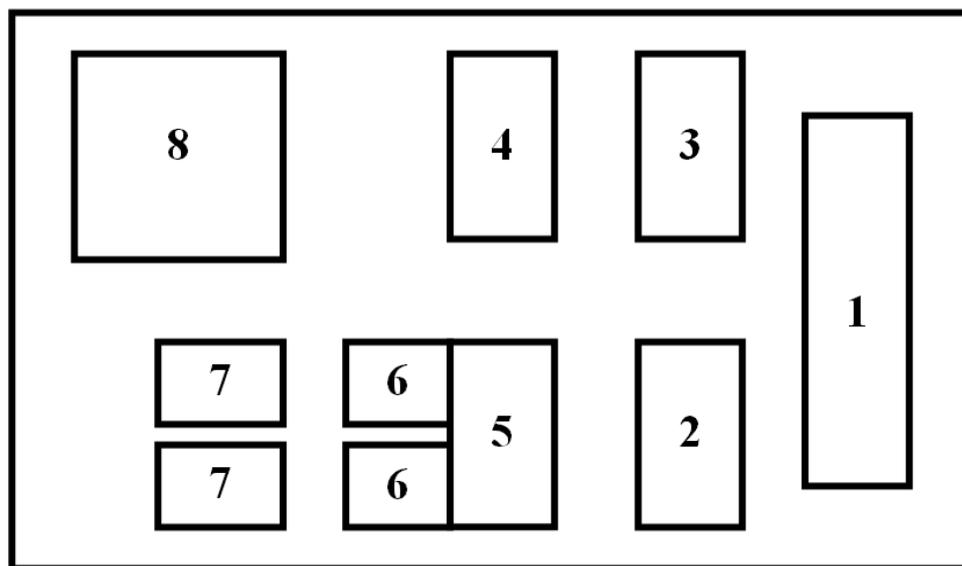


б

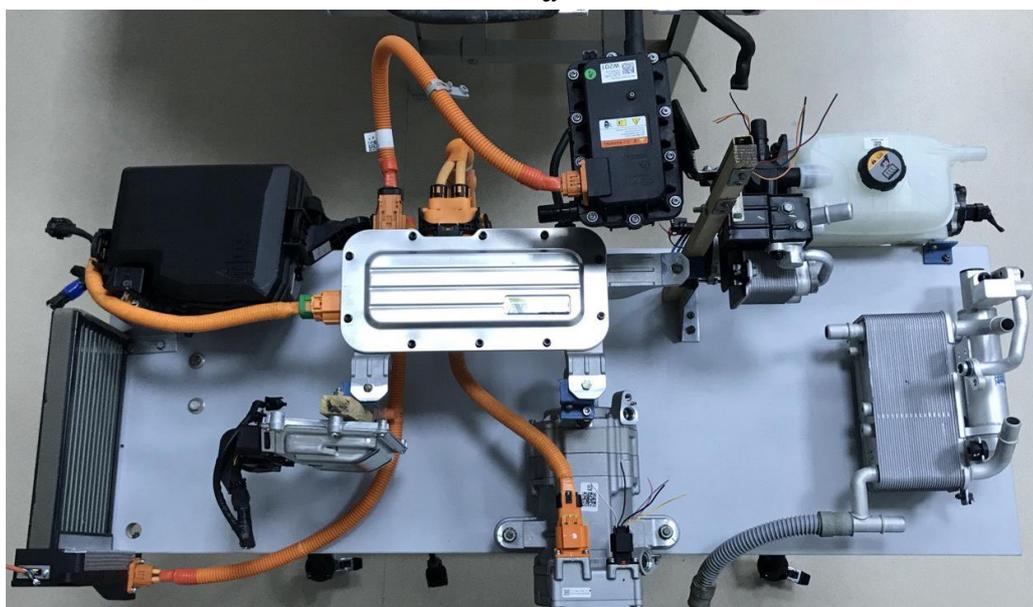
Рисунок 3.9 – Стенд-тренажер «Высоковольтная аккумуляторная система»: а – схема: 1 – панель с каналами охлаждения/нагрева модулей батареи; 2 – блок батареи, включающий 8 модулей (32 submodule); 3 – разъем высоковольтный передний 400/800 В; 4 – блок предохранителя высоковольтный 800 В; 5 – блок управления ячейками батареи; 6 – блок управления батареями; 7 – силовое реле; 8 – разъем инвертера; 9 – разъем высоковольтный задний 400/800 В; 10 – разъем связи и питания 12 В; б – общий вид.

Учебный стенд-тренажер «Передняя высоковольтная система» (рисунок 3.10) предоставляет возможность отработки и закрепления навыков выполнения основных видов работ по техническому обслуживанию и ремонту агрегатов и узлов расположенных в передней части электромобиля (в подкапотном простран-

стве и под электромобилем). Имеет размеры 1200×600 мм, высота расположения рабочей поверхности 900 мм.



а



б

Рисунок 3.10 – Стенд-тренажер «Передняя высоковольтная система»: а - схема: 1 – блок соединительный высоковольтный передний; 2 – нагреватель высоковольтной батареи жидкостный; 3 – нагреватель воздуха системы обогрева салона высоковольтный; 4 – компрессор кондиционера высоковольтный; 5, 6 – бачок расширительный (5), заблокированный с электрическими низковольтными насосами системы термостатирования высоковольтной аккумуляторной батареи (6); 7 – теплообменники жидкостные системы термостатирования высоковольтной аккумуляторной батареи; 8 – блок предохранителей и реле низковольтный; б – общий вид (повернуто).

Стенд-тренажер «Задняя высоковольтная система» предоставляет возможность отработки и закрепления навыков выполнения основных видов работ по техническому обслуживанию и ремонту элементов расположенных в задней части автомобиля (под кузовом), выполненный в виде двух мобильных блоков.

Первый мобильный блок стенда-тренажера «Задняя высоковольтная система» (рисунки 3.11, 3.13) включает два компонента и имеет размеры 1400×450 мм, высота расположения рабочей поверхности 850 мм.

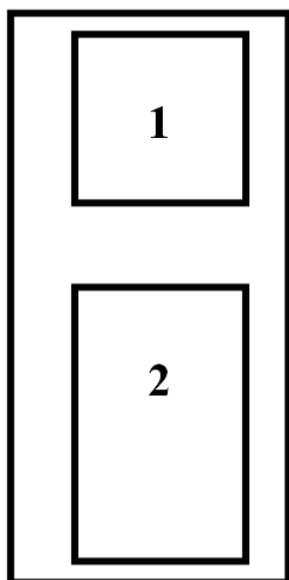


Рисунок 3.11 – Стенд-тренажер «Задняя высоковольтная система» (первый мобильный блок): 1 – блок зарядных разъемов 220, 400/800 В; 2 – преобразователь переменного тока в постоянный ток.

Второй мобильный блок стенда-тренажера «Задняя высоковольтная система» (рисунка 3.12, 3.13) включает три компонента и имеет размеры 950×800 мм, высота расположения рабочей поверхности 800 мм.

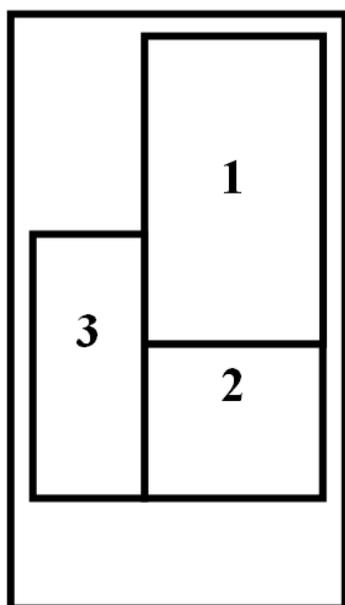


Рисунок 3.12 – Стенд-тренажер «Задняя высоковольтная система» (второй мобильный блок): 1 – электродвигатель в сборе с редуктором; 2 – мультиинвертор; 3 – блок соединительный высоковольтный задний.

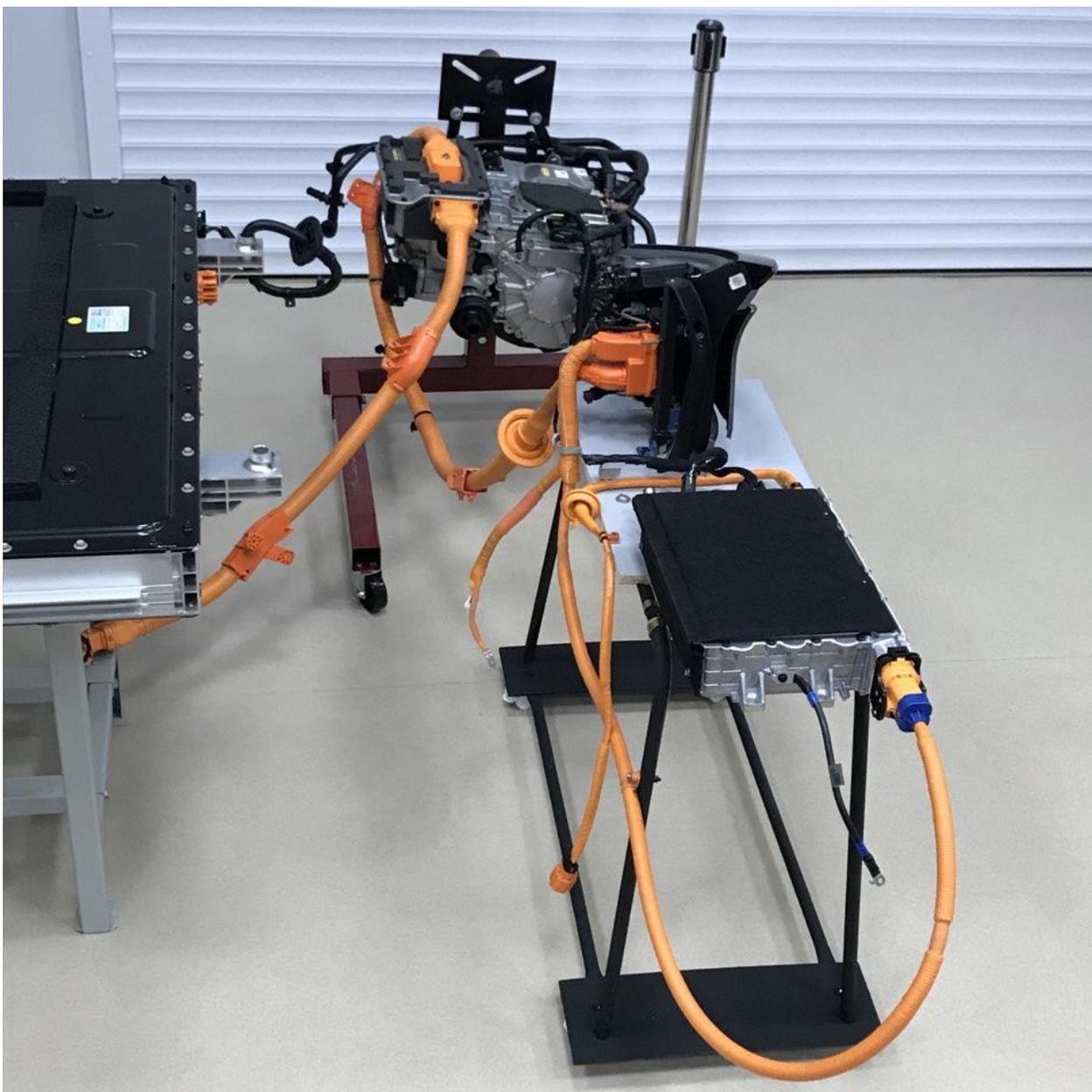


Рисунок 3.13 – Общий вид стенда-тренажера «Задняя высоковольтная система»

Комплект стендов-тренажеров в зависимости от цели исследования использовался в двух компоновочных вариантах:

- компоновочный вариант № 1 – все входящие в комплект стенды-тренажеры сблокированы друг с другом, обеспечивая одно рабочее место;
- компоновочный вариант № 2 – все входящие в комплект стенды-тренажеры отсоединены друг от друга, обеспечивая несколько рабочих мест.

В рамках первого компоновочного варианта комплекта стендов все входящие в комплект стенды-тренажеры сблокированы друг с другом, обеспечивая анализ конструкции и общей компоновки высоковольтной системы электромоби-

ля, собранной отдельно от кузова и шасси электромобиля, что позволяет оценить массовые и габаритные размеры узлов и агрегатов, входящих в конструкцию электромобиля и отвечающих за его работоспособность, их взаимное расположение и способы коммутации друг с другом. С использованием первого компоновочного варианта комплекта стендов-тренажеров отрабатывались технологические операции отсоединения и присоединения к высоковольтной аккумуляторной батарее блока соединительного высоковольтного заднего (рисунок 3.12, поз. 3), преобразователя переменного тока в постоянный ток (рисунок 3.11, поз. 2), блока соединительного высоковольтного переднего (рисунок 3.10, поз. 1).

В рамках второго компоновочного варианта комплекта все входящие в его состав стенды-тренажеры отсоединены друг от друга, обеспечивая несколько рабочих мест, используемых отдельно друг от друга.

С использованием стенда-тренажера «Высоковольтная аккумуляторная система» (рисунок 3.9) отрабатывались технологические операции:

- 1) демонтажа и монтажа крышки высоковольтной тяговой аккумуляторной батареи;
- 2) отсоединение и присоединение токоведущих шин соединяющих:
 - силовое реле (рис. 3.9, поз. 7) с модулями аккумуляторной батареи (рис. 3.9, поз. 2);
 - силовое реле (рисунок 3.9, поз. 7) с разъемом высоковольтным задним 400/800 В (рисунок 3.9, поз. 9);
 - силовое реле (рисунок 3.9, поз. 7) с разъемом высоковольтным передним 400/800 В (рисунок 3.9, поз. 3);
 - силовое реле (рисунок 3.9, поз. 7) с разъемом инвертера (рисунок 3.9, поз. 8);
 - блок предохранителя высоковольтный 800 В (рисунок 3.9, поз. 4) с модулями аккумуляторной батареи (рисунок 3.9, поз. 2);
 - модули аккумуляторной батареи друг с другом (рисунок 3.9, поз. 2);
- 3) демонтаж и монтаж модулей аккумуляторной батареи;
- 4) демонтаж и монтаж силового реле (рисунок 3.9, поз. 7);
- 5) демонтаж и монтаж предохранителя высоковольтного (рисунок 3.9, поз. 4);
- 6) демонтаж и монтаж блока управления батареей (рисунок 3.9, поз. 6);

- 7) демонтаж и монтаж блоков управления ячейками батареи (рис. 3.9, поз. 5);
- 8) демонтаж и монтаж сигнальной и управляющей проводки;
- 9) оценка напряжения на контактах тяговой аккумуляторной батареи в сборе;
- 10) оценка напряжения на выводах модулей тяговой аккумуляторной батареи;
- 11) оценка напряжения на выводах ячеек, формирующих модули тяговой аккумуляторной батареи;
- 12) оценка разницы напряжения ячеек, формирующих модули тяговой аккумуляторной батареи;
- 13) оценка внутреннего сопротивления ячеек, формирующих модули тяговой аккумуляторной батареи;
- 14) оценка исправности предохранителя высоковольтного;
- 15) проверка герметичности корпуса тяговой аккумуляторной батареи.

Стенд-тренажер «Передняя высоковольтная система» (рисунок 3.10) был использован для отработки технологических операции:

- 1) оценка технического состояния нагревателя высоковольтной батареи жидкостного (внутренне сопротивление, сопротивление изоляции);
- 2) оценка технического состояния нагревателя воздуха системы обогрева салона высоковольтного (внутренне сопротивление, сопротивление изоляции);
- 3) оценка технического состояния компрессора кондиционера высоковольтного (внутренне сопротивление, сопротивление изоляции);
- 4) демонтаж и монтаж насосов системы термостатирования;
- 5) оценка технического состояния насосов системы термостатирования (внутренне сопротивление, сопротивление изоляции).

Стенд-тренажер «Задняя высоковольтная система» (рисунки 3.11, 3.12) был использован для отработки технологических операций:

- 1) демонтаж и монтаж блока соединительного высоковольтного заднего;
- 2) демонтаж и монтаж мультиинвертора;
- 3) рассоединение и соединение электродвигателя с редуктором трансмиссии;
- 4) оценка технического состояния блока соединительного высоковольтного заднего (внутренне сопротивление, сопротивление изоляции);

- 5) оценка технического состояния мультиинвертора (внутренне сопротивление, сопротивление изоляции);
- 6) оценка технического состояния блока зарядных разъемов 220, 400/800 В;
- 7) замена масла в редукторе трансмиссии.

Как показали исследования, использование стенда-тренажера, предназначенного для отработки навыков безопасной и эффективной работы, позволяет сократить продолжительность подготовки персонала в обязанности которого будет входить выполнение разборочно-сборочных работ по высоковольтной тяговой аккумуляторной батарее на 20 процентов в сравнении с отработкой тех же навыков на полнокомплектном электромобиле (был взят учебно-тренировочный комплекс «Электромобиль» на базе электромобиля Лада Эллада от компании ИЦ «Smart» [258]).

3.6. Организация хронометражных наблюдений

В соответствии со справочной литературой, хронометраж операции – это способ изучения затрат времени на выполнение в нашем случае ручных элементов операции [277, 278]. В рамках нашего исследования мы планируем применить его для установления нормальной продолжительности операций по разборке и оценке состояния высоковольтной батареи для использования в разработанных математических моделях, а также, потенциально, для разработки нормативов, которые можно использовать в перспективе при расчете технически обоснованных норм времени.

Как известно, хронометраж может быть сплошным, когда непрерывно измеряют все элементы выбранной для исследования операции в их технологической последовательности, или же выборочным, когда за время выполнения операции измеряют лишь отдельные элементы независимо от их последовательности.

Для нашего исследования целесообразно применение сплошного хронометража, так как только в случае его применения можно будет выявить частичное

совмещение во времени или полное перекрытие отдельных элементов технологического процесса.

Хронометраж состоит из нескольких этапов к которым относят: подготовку к наблюдениям, непосредственно наблюдения, обработку результатов наблюдения, а в завершении анализ результатов с формулированием выводов, установлением норм и определением нормативов оперативного времени разборки высоковольтной батареи.

В рамках нашего исследования подготовка к проведению хронометражного наблюдения заключалась в предварительном расчленении операции на элементы и движения и подробном ознакомлении на месте наблюдения с оборудованием и условиями работы. Рассматривались требования безопасности при работе с высоковольтной батареей, обеспеченность инструментом, освещенность рабочего места, удобство расположения инструментов относительно объекта исследования, необходимость наличия специального инструмента и приспособлений.

В рамках подготовки к наблюдению производилось заполнение лицевой стороны хронометражного наблюдательного листа (закрепленной нормативами формы такого документа не существует, поэтому была использована подходящая по назначению из открытых источников), с указанием следующих исходных данных [277, 278]:

- наименование и характеристика объекта;
- название операции;
разряд работы;
- сведения об оборудовании, инструменте, приспособлениях;
- сведения об исполнителе (фамилия, квалификация, стаж, производственная характеристика);
- схема рассматриваемого объекта.

По итогам подготовки наблюдатель указал организаторам и исполнителям исследования, на замеченные в процессе предварительного ознакомления недостатки организации эксперимента, ознакомил с фактическим порядком выполне-

ния элементов подлежащей изучению операции и определил наиболее рациональное расчленение операции для устранения лишних элементов и движений.

Рабочий-исполнитель, выполняющий исследуемый процесс и входящие в него операции, должен иметь соответствующую работе квалификацию, хорошо знать объект исследования, инструмент и приспособления, применяемые на данной операции, уметь рационально организовать свой рабочий день.

Подготовка к наблюдению заканчивается занесением в наблюдательный лист элементов изучаемой операции в их технологической последовательности и установлением фиксажных точек.

Под фиксажной точкой подразумевается момент, в котором совпадают окончание последнего движения одного элемента с началом первого движения следующего элемента операции.

Смысл установления фиксажных точек заключается в чётком разграничении во времени отдельных элементов, необходимом для правильного измерения их продолжительности.

Только после проведения подготовительной работы приступают к непосредственному наблюдению – измерению времени элементов изучаемой операции и записи продолжительности каждого элемента. Для измерения времени работы был использован секундомер, встроенный в смартфон, а само измерение производилось по отдельным отсчетам. В наблюдательном листе фиксировали только продолжительность отдельных элементов операции. То есть секундомер пускали в ход с началом каждого элемента операции и выключали одновременно с его окончанием. Дополнительно в отдельной графе карты хронометражных наблюдений фиксировались потенциальные паузы и их причины, которые могли повлиять на величину зафиксированного времени.

В результате хронометражных наблюдений по каждому элементу операции были накоплены многократно зафиксированные сведения о длительности их выполнения, которые принято называть хронометражным рядом. Для получения достоверных данных было проведено неоднократное повторение всех элементов технологического процесса, чтобы уложиться в рекомендуемое их количество.

Для ручных работ при условии, что их продолжительность превышает 10 минут количество замеров должно быть не менее восьми.

После завершения измерений был проведен анализ и осуществлена обработка хронометражных данных включавшая составление рядов, установление степени устойчивости ряда, вычисление норматива расчетной продолжительности каждого элемента операции, выявление возможности совмещения элементов операции, выявление возможностей механизации работ, установление нормы оперативного времени.

Ввиду наличия достаточно устойчивых хронометражных рядов (для ручных мелкосерийных работ менее 2,3) оказалось возможным определение норматива времени на каждый элемент операции как среднюю арифметическую величину хронометражного ряда.

3.7. Результаты экспериментов

Экспериментальная часть работы, связанная с полнокомплектными электромобилями, ввиду невозможности выполнения работ под электромобилем на базе университета, была выполнена в условиях не сетевого специализированного сервисного предприятия, занимающегося ремонтом и обслуживанием автомобилей и спецтехники, в том числе и электромобилями. Специально для нашего исследования сотрудниками предприятия фиксировалась продолжительность выполнения технологических операций, связанных с демонтажом тяговых аккумуляторных батарей, а также с выполнением диагностических операций. Эти замеры выполнялись с процессе работы с однотипными электромобилями, в подавляющих случаях это был электромобиль Nissan Leaf с использованием стандартного инструмента, приспособлений и универсального диагностического оборудования и специализированного оборудования для работы с аккумуляторными батареями электромобилей и гибридных автомобилей (многоканальное интеллектуальное зарядное устройство типа «Т-1000 V5_7»). На кафедре тракторы и автомобили диагностические работы хронометрировались с имеющимся в распоряжении электромобилем Kia Soul EV (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Рабочее место мастера диагноста электромобилей в лаборатории кафедры «Тракторы и автомобили»

Проведенные работы позволили выявить количество реализаций и составить полигоны распределения продолжительности выполнения технологических операций. Например, количество реализаций и полигон распределения продолжительности демонтажа высоковольтной батареи электромобиля показано на рисунке 3.15, а общая усредненная продолжительность по операциям на рисунках 3.16, 3.17, 3.18.

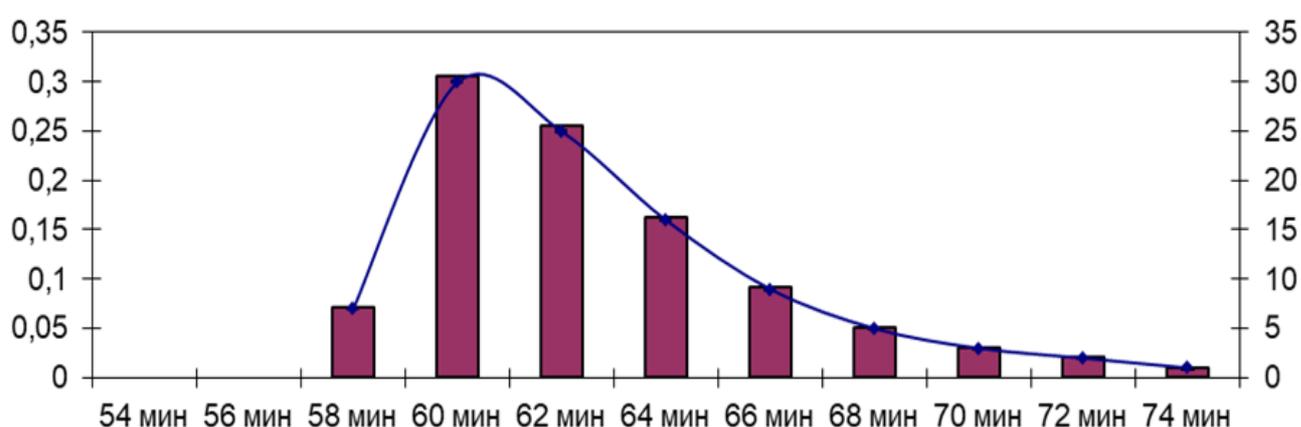


Рисунок 3.15 – Количество реализаций и полигон распределения продолжительности выполнения операции «демонтаж высоковольтной батареи электромобиля»

Диагностические работы с полнокомплектным электромобилем без демонтажа батареи проводились также в лаборатории кафедры «Тракторы и автомобили» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Технологическая операция	Продолжительность выполнения технологической операции, минут																			
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Приемный осмотр, подключение и запуск диагностического оборудования	10																			
Отсоединение диагностического оборудования, постановка электромобиля на пост демонтажа тяговой аккумуляторной батареи		5																		
Демонтаж тяговой аккумуляторной батареи, погрузочно-разгрузочные работы																				
Детальная проверка и подготовка к передаче на участок для разборки демонтированной тяговой аккумуляторной батареи																				
Общая продолжительность технологических операций с электромобилем	120 минут (2 часа)																			

Рисунок 3.16 – Структура продолжительности выполнения технологических операций с полнокомплектным электромобилем

Технологическая операция	Продолжительность выполнения технологической операции, минут																			
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Подключение и запуск испытательного оборудования	10																			
Начальный заряд и балансировка ячеек батареи																				
Определение характеристик ячеек батареи																				
Отсоединение испытательного оборудования																				5
Общая продолжительность технологических операций с высоковольтной аккумуляторной батареей	90 минут (1,5 часа)																			

Рисунок 3.17 – Структура продолжительности выполнения технологических операций в рамках ускоренной проверки высоковольтной батареи с использованием анализатора батареи (многоканального интеллектуального зарядного устройства)

Технологическая операция	Продолжительность выполнения технологической операции, минут																																																											
Подключение и запуск испытательного оборудования	10																																																											
Начальный заряд и балансировка ячеек батареи	50																																																											
Отдых после зарядки											10																																																	
Полная разрядка											180																																																	
Отдых после разрядки																					30																																							
Полная зарядка																					210																																							
Отдых после зарядки																															10																													
Частичный разряд																															30																													
Отсоединение испытательного оборудования																															10																													
Общая продолжительность технологических операций с высоковольтной аккумуляторной батареей	540 минут (9 часов)																																																											

Рисунок 3.18 – Структура продолжительности выполнения технологических операций в рамках углубленной проверки высоковольтной батареи с использованием анализатора батареи (многоканального интеллектуального зарядного устройства)

Работы связанные с разборкой высоковольтной аккумуляторной батареи проводились на стенде-тренажере, разработанном и выполненном на кафедре «Тракторы и автомобили»

На стенде смонтирована высоковольтная аккумуляторная батарея от электромобиля KIA EV-6, обладающая всеми характерными признаками современной «типовой» высоковольтной аккумуляторной батареи (рисунок 3.19).

Рассматриваемая батарея содержит шесть сдвоенных ячеек «SK Innovation E556» в одном модуле (схема 2P6S), а всего в батарее, смонтированной на стенде расположено 24 модуля (субмодуля). Номинальное напряжение одной ячейки E556 3,63 В, емкость 55,6 А·ч, таким образом, номинальное напряжение модуля – 21,78 В, а емкость 111,2 А·ч., следовательно напряжение всей батареи составит 522,7 В.



Рисунок 3.19 – Общий вид рабочего места и этапы работы с высоковольтной аккумуляторной батареей

Изучение конструкции высоковольтной батареи позволило разделить ее на разборочные группы (рисунок 3.20) у каждой из которых может быть различный потенциал использования. В моноблоке высоковольтной батареи электромобиля следует выделить пять основных групп: 1 – модули (на рисунке 10 показана версия батареи 37501CV150 состоящей их двух половин по три модуля – всего 6 модулей, включающих 24 субмодуля); 2 – блок управления батареями (BMU); 3 – блок силового реле (PRA); 4 – блок силового предохранителя; 5 – зона группового

размещения блоков управления ячейками батареи (CMU) и кабеля контроля параметров и управления.

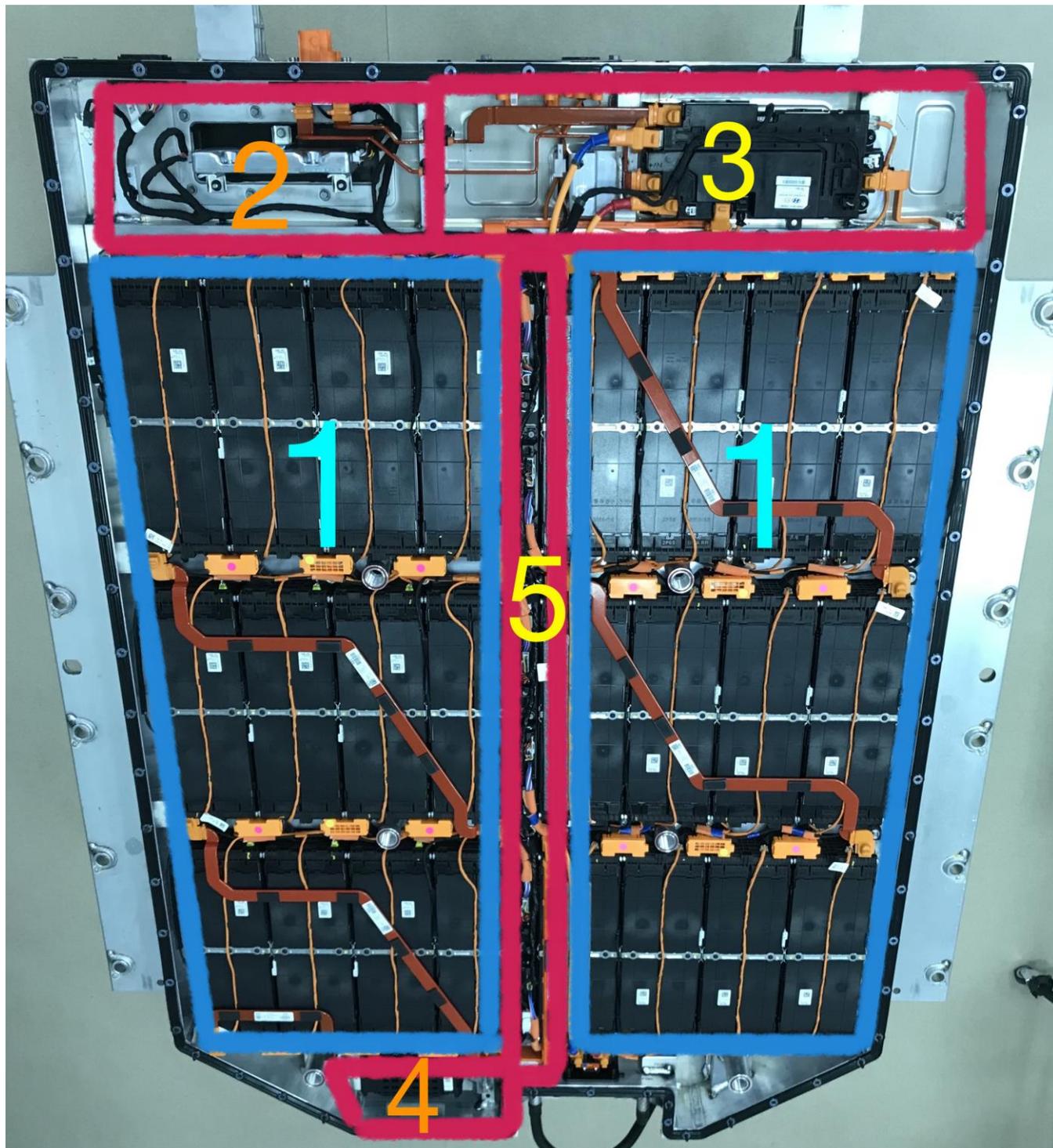


Рисунок 3.20 – Общий вид высоковольтной тяговой батареи 37501CV150 со снятой крышкой и разделением на разборочные группы: 1 – модули; 2 – блок управления батареями; 3 – блок силового реле; 4 – блок силового предохранителя; 5 – зона группового размещения блоков управления ячейками батареи и кабеля контроля параметров и управления

В зависимости от целей, которые должны быть достигнуты в рамках технологического процесса, разборка может быть частичная или полная. Частичная разборка высоковольтной батареи имеет место при текущем ремонте, например, для замены отдельных модулей или ячеек или электронных компонентов, расположенных внутри корпуса батареи к которым не предусмотрен доступ снаружи.

Полная разборка имеет место при реновации батареи, например при замене всех ячеек на новые вместо деградировавших или новые с повышенной емкостью с модернизацией системы мониторинга ячеек, а также при утилизации, для формирования фонда обменных деталей или сортировки по группам материалов.

Независимо от глубины разборки – частичной или полной – процесс будет включать две фазы. В первой фазе будет выполняться первичная оценка параметров безопасности батареи после демонтажа с электромобиля и вскрытие батареи с предварительной поэлементной оценкой. Технологические операции, входящие в эту фазу необходимо выполнять в полном объеме.

Во второй фазе, предполагающей дальнейшую работу с разборочными группами (рисунок 3.20), возможны различные траектории работы, так, при частичной разборке демонтаж выполняется по одной или нескольким разборочным группам, при полном – по всем.

В целом разборочный процесс можно разделить на несколько этапов, каждый из которых имеет определенное целевое назначение и связан с одной или несколькими разборочными группами:

- первый этап – демонтаж главного предохранителя (рисунок 3.21);
- второй этап – демонтаж блока управления батареей (рисунок 3.22);
- третий этап – демонтаж крышки корпуса батареей (при снятой с электромобиля батарее) (рисунок 3.23);
- четвертый этап – демонтаж токоведущих шин (рисунок 3.24);
- пятый этап – демонтаж низковольтной проводки;
- шестой этап – демонтаж блоков управления ячейками батареей
- седьмой этап – демонтаж субмодулей.

Первые два этапа технологического процесса разборки высоковольтной батареи можно выполнить без демонтажа батареи с автомобиля, причем первый этап строго перед демонтажом батареи в целях обеспечения безопасности проводимых далее работ. Второй этап можно отложить, так как связан он с низковольтными цепями батареи, при этом его выполнение возможно как без демонтажа батареи, благодаря наличию доступа снаружи, путем демонтажа крышки, на которой смонтирован блок управления батареями, так и изнутри, после демонтажа и вскрытия батареи (третий этап).

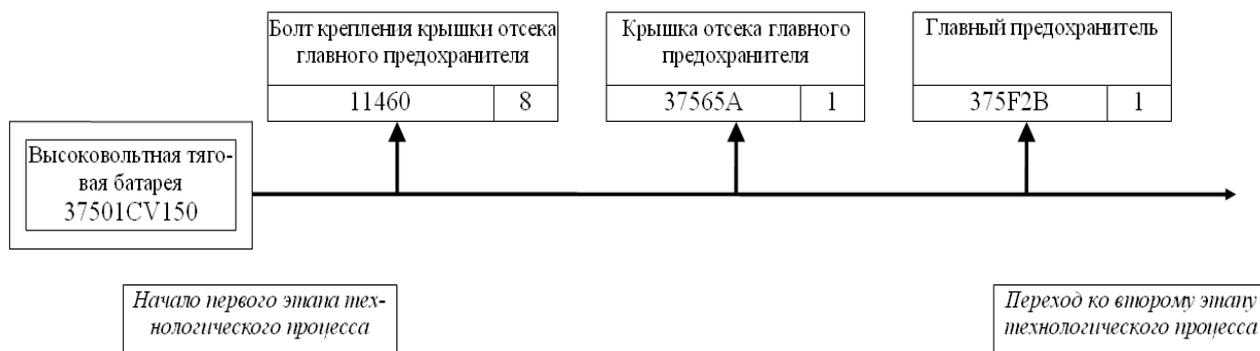


Рисунок 3.21 – Фрагмент схемы технологического процесса на примере первого этапа (демонтаж главного предохранителя)

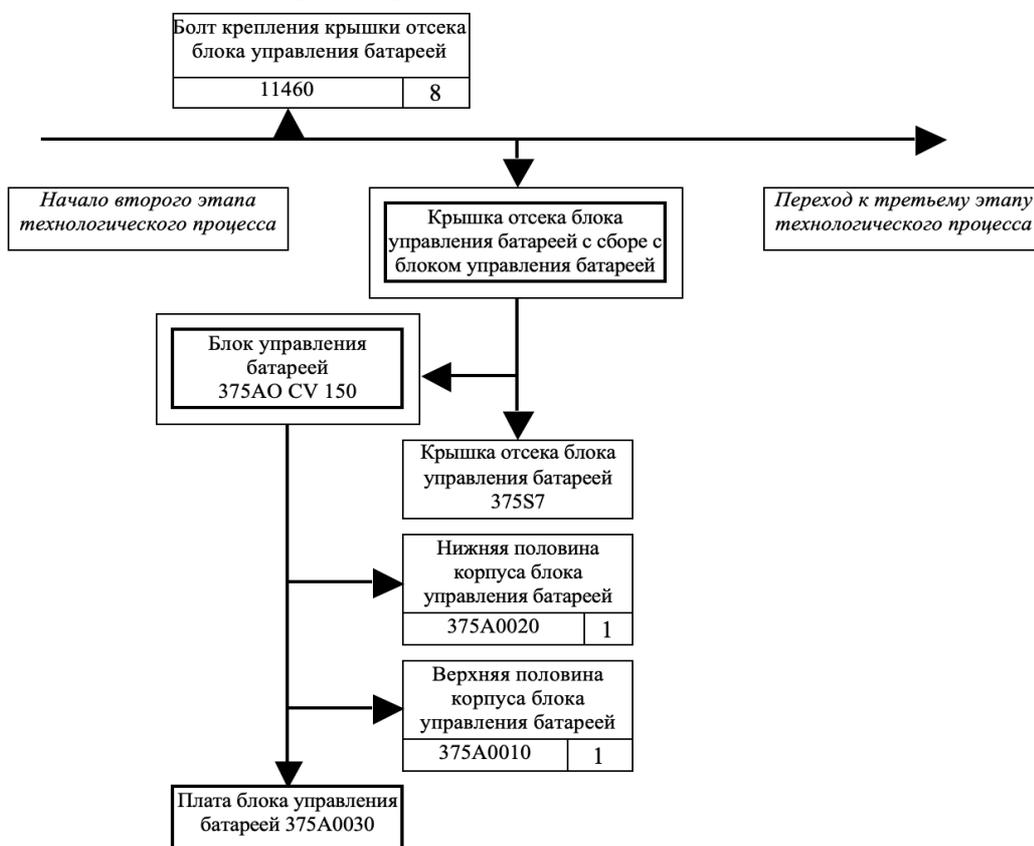


Рисунок 3.22 – Фрагмент схемы технологического процесса на примере второго этапа (демонтаж блока управления батареями)

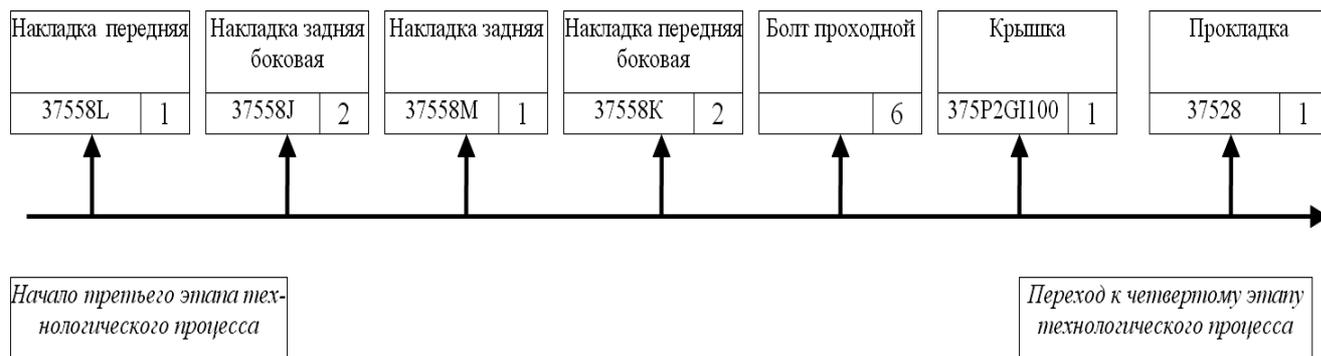


Рисунок 3.23 – Фрагмент схемы технологического процесса на примере третьего этапа (демонтаж крышки корпуса батареи (при снятой с электромобиля батарее))

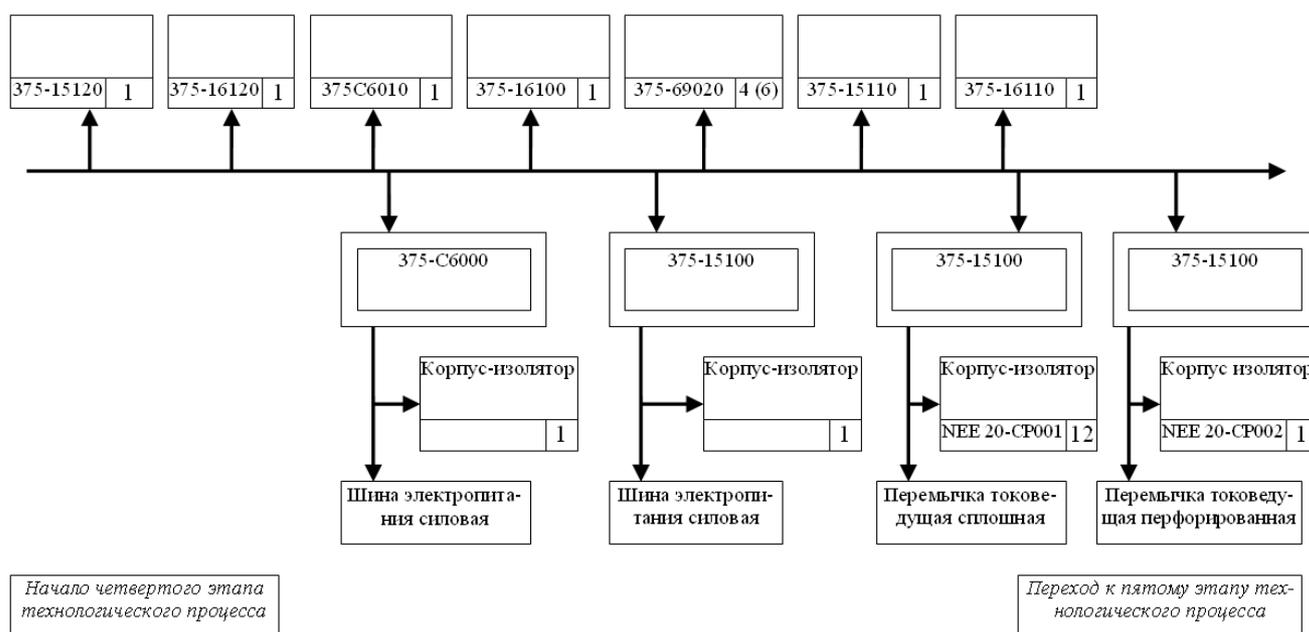


Рисунок 3.24 – Фрагмент схемы технологического процесса на примере четвертого этапа (демонтаж токоведущих шин)

С третьего этапа и до завершения технологического процесса работы возможны только при снятой с электромобиля высоковольтной батарее. Даже демонтированная батарея с извлеченным главным силовым предохранителем остается опасной для персонала, поэтому четвертым этапом производится демонтаж токоведущих шин и перемычек между субмодулями, таким образом напряжение на выводах с которыми возможен контакт персонала будет снижено с 270 В до 22В. Помимо этого, демонтаж токоведущих шин и перемычек открывает возможность демонтажа как отдельных субмодулей, что бывает необходимо при текущем

ремонте с заменой элементов, так и всех, что требуется при подготовке батареи к реновации или утилизации.

3.8. Определение базовой продолжительности технологических операций

Как уже было упомянуто во второй главе, процесс разборки высоковольтной батареи необходимо разделить на две фазы. Первая фаза представляет собой первичную работу с высоковольтной батареей и включает первичную оценку параметров безопасности и вскрытие батареи с предварительной поэлементной оценкой (рисунки 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35). В данном разделе мы не будем приводить полное содержание хронометражных наблюдательных листов, а ограничимся сведениями после итоговой обработки (таблица 3.6 и 3.7).

Таблица 3.6 Технологические операции первой фазы

Пункт	Технологическая операция	Продолжительность	Примечания
1.1	Проверка напряжения на штатных разъемах батарей	90,23 сек	1 человек
1.2	Демонтаж прижимных накладок крышки батареи	5 мин 193 сек (8,2 мин)	
1.2.1	Демонтаж фронтальной накладки	2 мин 47 сек	
1.2.2	Демонтаж правой второй накладки	51, 87 сек	
1.2.3	Демонтаж левой второй накладки	1 мин 12 сек	
1.2.4	Демонтаж левой первой накладки	1 мин 05 сек	
1.2.5	Демонтаж правой первой накладки	56 сек	
1.2.6	Демонтаж задней накладки	1 мин 22 сек	
1.3	Демонтаж силового предохранителя батареи	1 мин 32 сек	8 болтов, крышка
1.4	Демонтаж сквозных проходных болтов крышки батареи	1 мин 50 сек	6 болтов
1.5	Демонтаж крышки	2 мин	2 человека
1.6	Проверка напряжения по блокам	85 сек	
1.7	Проверка напряжения по модулям	12 сек/модуль (288 сек)	Повторяется 24 раза
Общая продолжительность		0,48 часа	



Рисунок 3.25 – Элемент технологического процесса 1.1 (по табл. 3.6)



Рисунок 3.26 – Элемент технологического процесса 1.4 (по табл. 3.6)

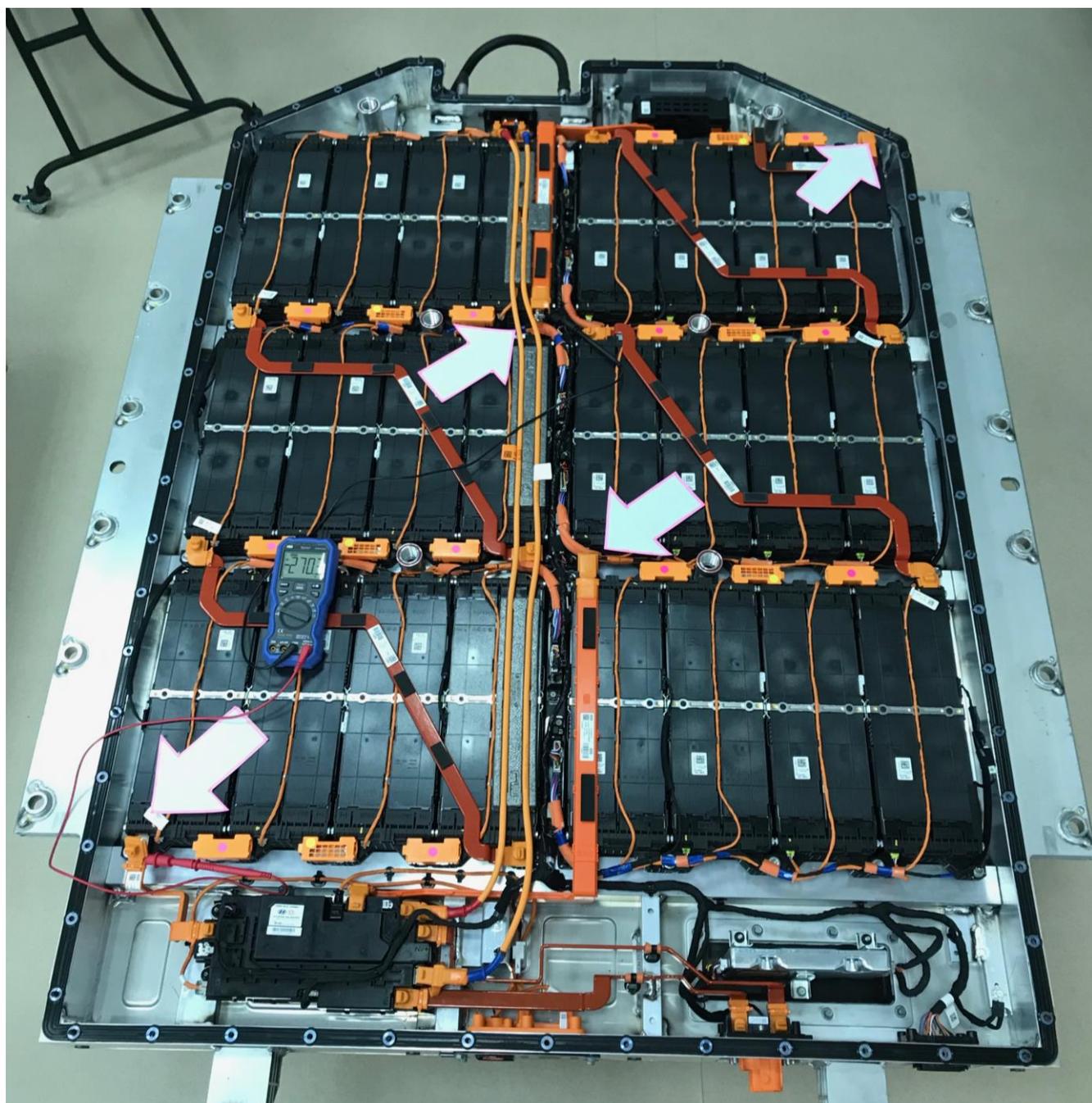


Рисунок 3.27 – Элемент технологического процесса 1.6 (по табл. 3.6)

Таблица 3.7 Технологические операции второй фазы

Пункт	Технологическая операция	Продолжительность	Примечания
1	2	3	4
2.1	Повторная проверка напряжения по блокам	85 сек	2 блока
2.2	Повторная проверка напряжения по модулям	12 сек/модуль (288 сек) (4,8 мин)	Повторяется 24 раза
2.3	Демонтаж внешних модулей	18 мин 610 сек (28,16 мин)	6 модулей
2.3.1	Демонтаж разъемов BMS и датчиков температуры	21 сек	Повторяется 6 раз
2.3.2	Демонтаж токоведущих соединительных шин	1 мин 11 сек	Повторяется 6 раз

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4
2.3.3	Демонтаж диагональных соединительных токоведущих шин	34 сек	Повторяется 4 раза
2.3.4	Отведение из зоны демонтажа кабелей ВМС и датчиков температуры	10 сек	Повторяется 6 раз
2.3.5	Демонтаж крепежных болтов модуля к корпусу	1 мин 07 сек	Повторяется 6 раз
2.3.6	Демонтаж проходных болтов соединяющих соседние модули	30 сек	Повторяется 6 раз
2.3.7	Отрыв модуля от герметика	1 мин	Повторяется 6 раз с осторожностью
2.4	Демонтаж внутренних модулей	18 мин 2574 сек (60,9 мин)	18 модулей
2.4.1	Демонтаж разъемов ВМС и датчиков температуры	15 сек	Повторяется 18 раз
2.4.2	Отведение из зоны демонтажа кабелей ВМС и датчиков температуры	10 сек	Повторяется 18 раз
2.4.3	Демонтаж токоведущих соединительных шин	48 сек	Повторяется 18 раз
2.4.4	Демонтаж крепежных болтов модуля к корпусу	32 сек	Повторяется 18 раз
2.4.5	Демонтаж проходных болтов соединяющих соседние модули	38 сек	Повторяется 18 раз
2.4.6	Отрыв модуля от герметика	1 мин	Повторяется 18 раз с осторожностью
2.5	Разборка модуля (24 штуки)	24 мин 1752 сек (53,2 мин)	24 модуля
2.5.1	Демонтаж соединительного крепежа	1 мин 53 сек	Повторяется 24 раза
2.5.2	Снятие правой и левой боковин модуля	20 сек	Повторяется 24 раза
2.6	Диагностика ячеек	2813,76 сек (46 мин)	
2.6.1	Замер напряжения ячейки вольтметром	1,67 сек/ячейка	Повторяется 288 раз
2.6.2	Замер внутреннего сопротивления ячейки прибором оценки химических источников тока	8,1 сек/ячейка	Повторяется 288 раз
Общая продолжительность		3,25 часа	

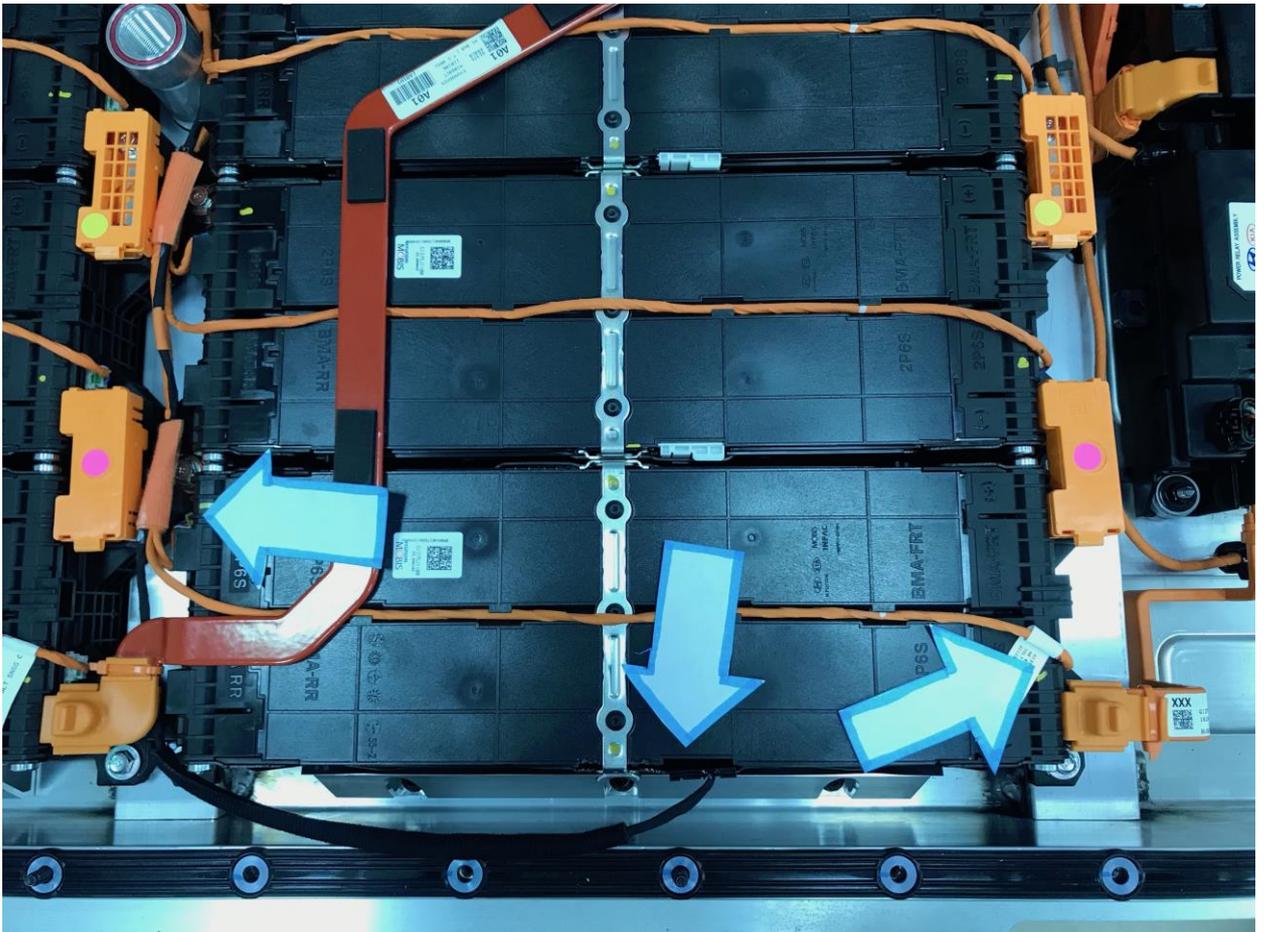


Рисунок 3.28 – Элемент технологического процесса 2.3.1 (по табл. 3.7)



Рисунок 3.29 – Элемент технологического процесса 2.3.2 (по табл. 3.7)

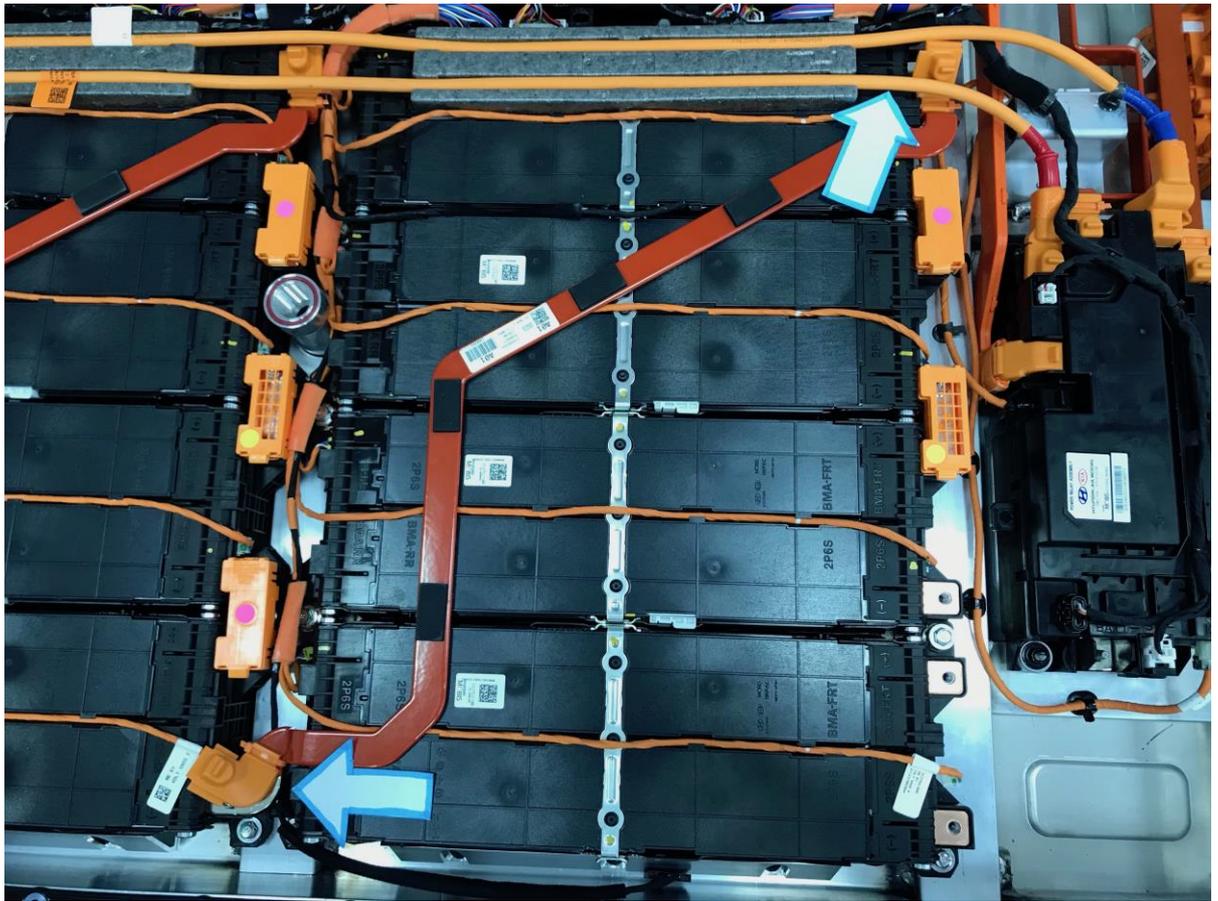


Рисунок 3.30 – Элемент технологического процесса 2.3.3 (по табл. 3.7)

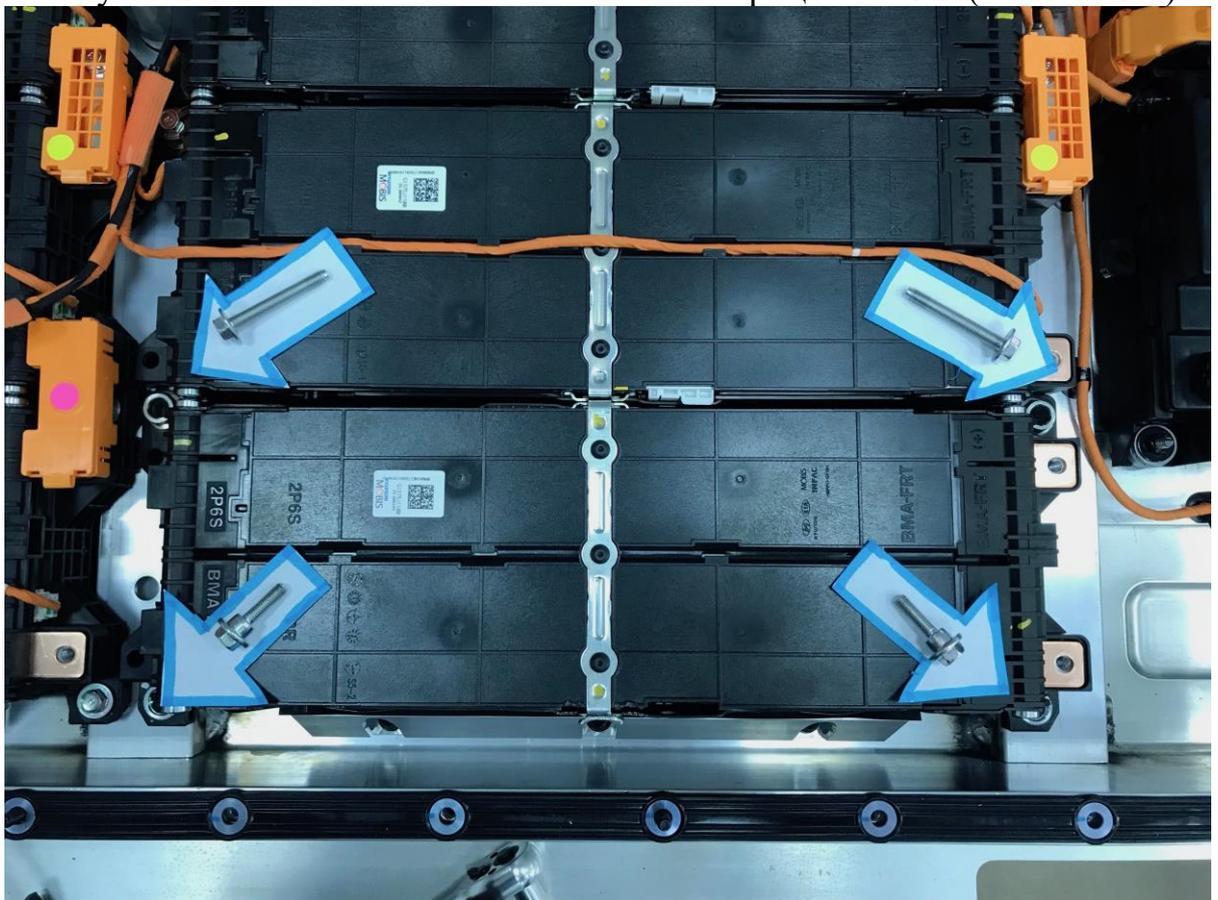


Рисунок 3.31 – Элемент технологического процесса 2.3.5 (по табл. 3.7)

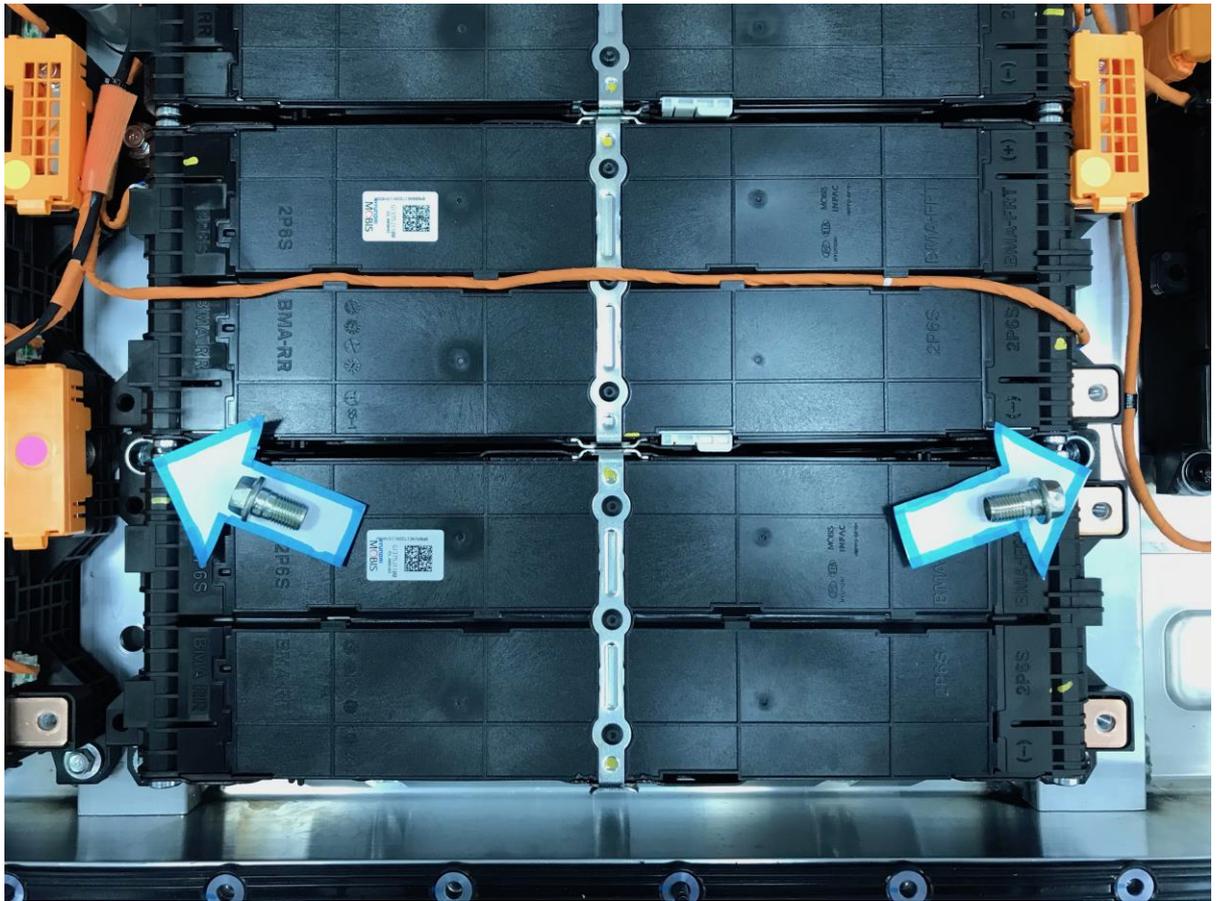


Рисунок 3.32 – Элемент технологического процесса 2.3.6 (по табл. 3.7)

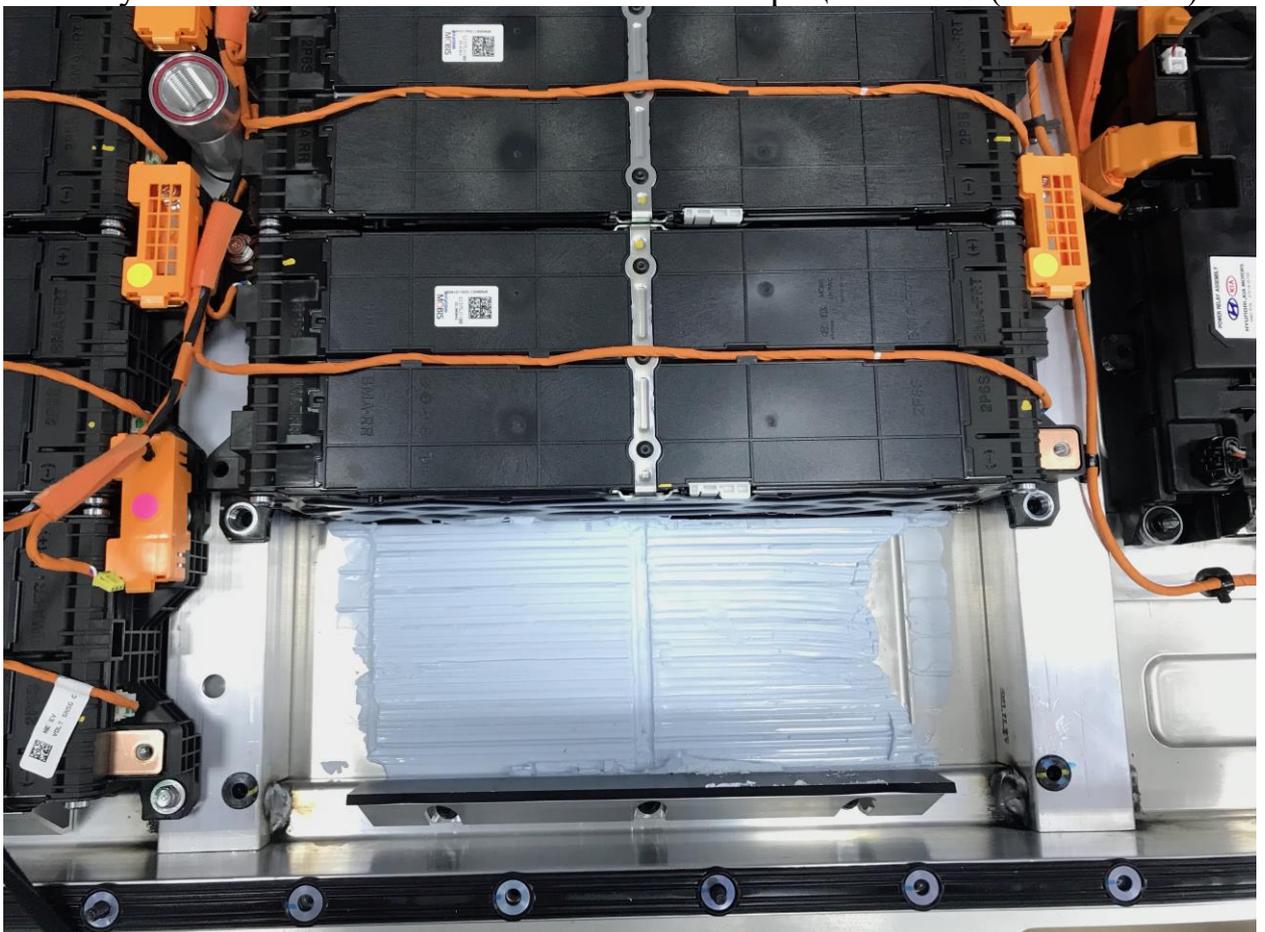


Рисунок 3.33 – Элемент технологического процесса 2.3.7 (по табл. 3.7)



Рисунок 3.34 – Элемент технологического процесса 2.5.1 (по табл. 3.7)

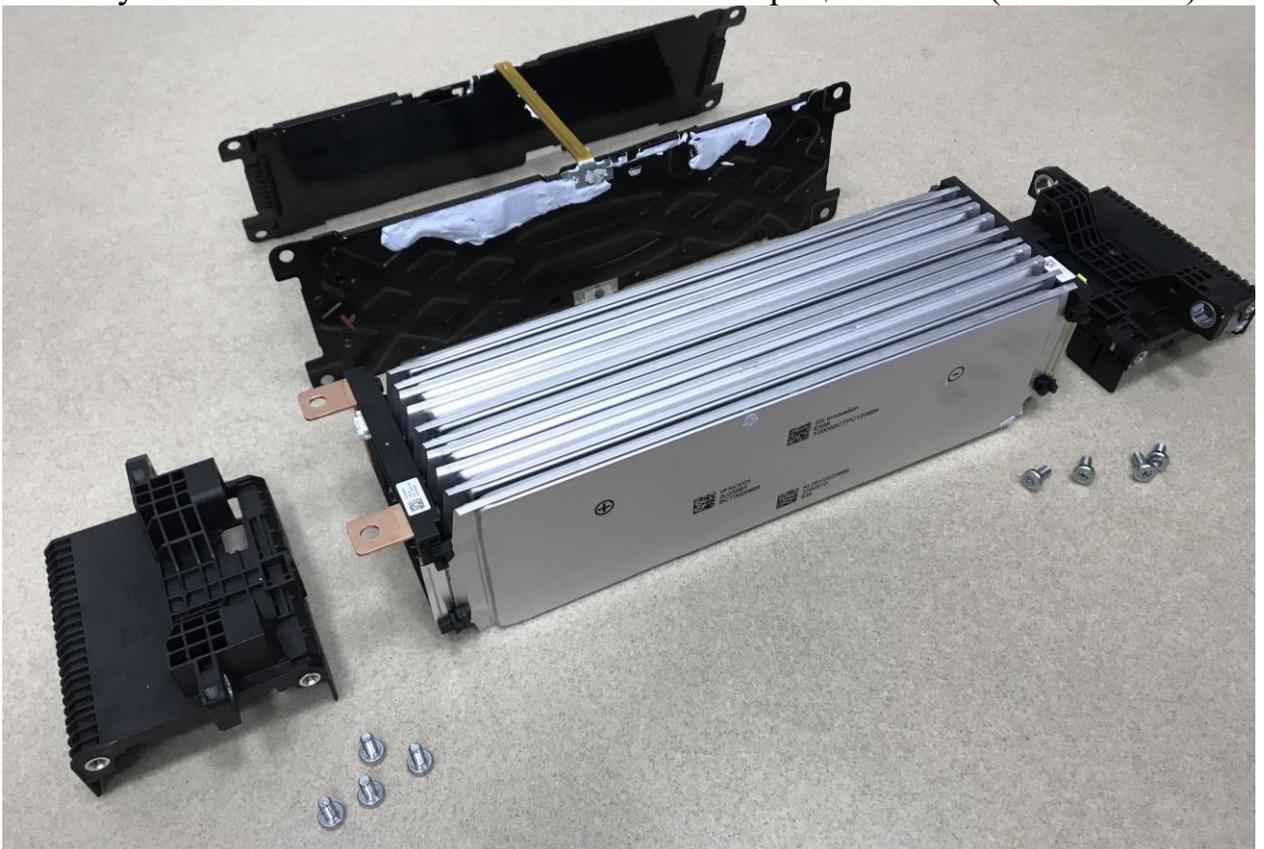


Рисунок 3.35 – Общий вид разобранного модуля

Как показало проведение эксперимента, продолжительность выполнения каждого из выполненных элементов технологического процесса практически не повлияла на продолжительность выполнения следующего элемента. Причем, уве-

личение или уменьшение трудоемкости операции не зависит от состояния высоковольтной батареи. Все процедура выполняется практически без изменения вне зависимости от качества батареи. Отличие может заключаться в назначении второй фазы, так как батарея по итогам проверок в первой фазе (и приборных и визуальных, например повреждение или следы утопления видны без замеров) может быть отнесена к неремонтопригодным и дальнейшая разборка может вестись только для разделения на утилизируемые компоненты по материалам.

Независимость операций и их продолжительности дает основания считать, что весь объем работ будет подчиняться нормальному закону распределения и возникает возможность вероятностного прогнозирования оперативной трудоемкости утилизации автомобилей по точкам приложения действий.

Определение продолжительности демонтажа компонентов тяговых аккумуляторных батарей электромобилей проводилось путем неоднократной полной разборки аккумуляторных батарей, имевшихся в распоряжении лаборатории кафедры «Тракторы и автомобили». Снятие компонентов проводилось одним исполнителем (за исключением крышки тяговой батареи) с сохранением крепежных элементов (хронометражные наблюдения проводились с имитацией реальной работы на предприятии, предполагающей, что все снятые детали будут возвращены на место при сборке). Использовалось стандартное оборудование, приспособления и инструмент, применяемые при техническом обслуживании и ремонте электромобилей и гибридных автомобилей. При хронометрировании операций разборки фиксировалось реальное время на проведение операций с учетом подготовительных процедур и замены инструмента. Анализ отдельных операций демонтажа повторялся несколько раз, позволяя сформировать базу значений продолжительности выполнения отдельных операций и их рассеяние от среднего значения (рисунок 3.36 и 3.37) табл. 3.6, 3.7) [277, 278].

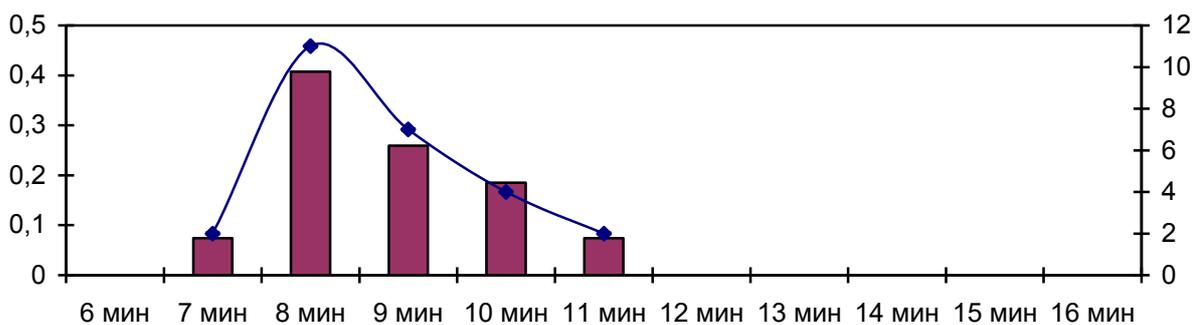


Рис. 3.36 – Количество реализаций и полигон распределения продолжительности выполнения операции «Демонтаж прижимных накладок крышки батареи» $\bar{x} = 8,2 \text{ мин}$ (пункт 1.2 из таблицы 3.6)

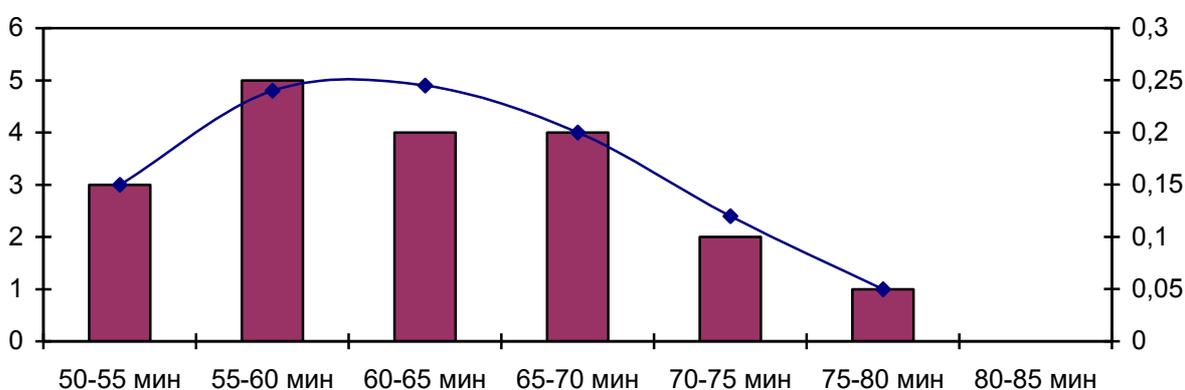


Рисунок 3.37 – Количество реализаций и полигон распределения продолжительности выполнения операции «Демонтаж внутренних модулей» $\bar{x} = 61 \text{ мин}$ (пункт 2.4 из таблицы 3.7)

Продолжительность выполнения любого из выше представленных элементов технологического процесса практически не оказывает влияния на продолжительность следующего, а доля каждого из слагаемых достаточно мала по отношению к сумме. Как показало дополнительное общение с представителями специализированных сервисных предприятий, увеличение или уменьшение трудоемкости операций зависит не только от объема работ, запрошенных клиентом, но и от конструктивных особенностей, то есть модели (поколения) высоковольтной батареи, а не ее технического состояния. Различия в конструкции высоковольтной батареи могут быть даже в рамках одной модели, например, как у Nissan LEAF ZE0 и AZE0 (рисунок 3.38).

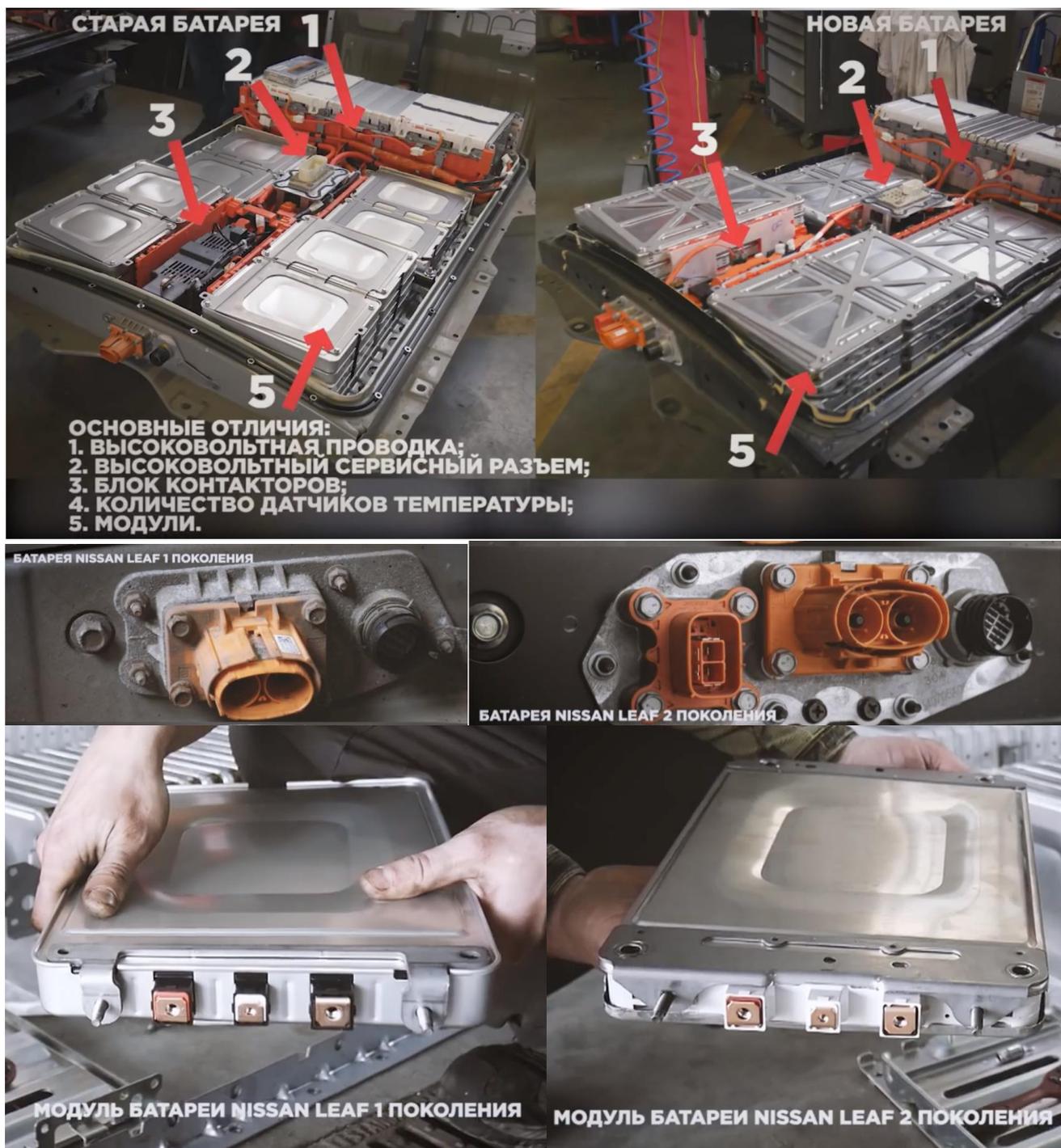


Рисунок 3.38 — Конструктивные отличия высоковольтных батарей и их модулей электромобиля Nissan LEAF ZE0 (2011 г.в.) и AZE0 (2013 г.в.)

Разработка технологического процесса разборки высоковольтной тяговой батареи является важным элементом мероприятий по расширению сфер применения электрифицированного наземного транспорта и транспортно-технологических машин. Понятные пошаговые рекомендации по выполнению технологических процессов, связанных с поддержанием работоспособности поз-

волят минимизировать количество ошибок персонала при обращении с высоковольтными батареями, исключить повреждение батарей и их элементов при выполнении ремонта или модернизации, а также позволят формировать обменный фонд с более разнообразной номенклатурой элементов и узлов. Наличие схем технологического процесса позволит рационально подойти к организации технологического процесса разборки исходя из целей дальнейшего использования всей батареи или отдельных ее компонентов, сформировать требования к производственно-технической базе, инструментам и приспособлениям, необходимым для осуществления технологического процесса.

3.9. Выводы по главе 3

Проведенная на натуральных образцах экспериментальная работа и полученные результаты обосновали уверенность в возможности применения элементов системы массового обслуживания, ранее представленных во второй главе для моделирования технологических процессов, реализуемых в условиях специализированных сервисных предприятий, предполагающих разборку и диагностику высоковольтных аккумуляторных батарей, предназначенных для использования при модернизации транспортных и транспортно-технологических машин или для альтернативного использования в составе новых изделий не транспортного назначения, помогли сформировать информационную базу для использования в математических моделях работы постов и участков предприятия.

1. По результатам анализа рынка подержанных электромобилей были выявлены модели и определены характеристики электромобилей-агрегатоносителей, отвечающих потребностям во вторичных агрегатах и узлах со стороны специализированных сервисных предприятий, реализующих технологические процессы модернизации транспортно-технологических машин установкой электропривода.

2. Определен форм-фактор аккумуляторных ячеек, применяемых в тяговых аккумуляторных батареях и варианты их вторичного использования в альтернативных изделиях.

3. Экспериментально определены базовые значения продолжительности выполнения технологических операций с полнокомплектным электромобилем агрегатом – 2 часа, а также с тяговой аккумуляторной батареей в рамках ускоренной – 1,5 часа и углубленной – 9 часов – проверки высоковольтной батареи.

4. Экспериментально определены базовые значения продолжительности технологических процессов разборки тяговой аккумуляторной батареи – 0,48 часа в первой фазе и 3,25 часа во второй фазе, а также разработана семиэтапная схема технологического процесса.

5. Разработан и запатентован стенд-тренажер, предназначенный для отработки навыков безопасной и эффективной работы, позволяющий сократить продолжительность подготовки персонала в обязанности которого будет входить выполнение разборочно-сборочных работ по высоковольтной тяговой аккумуляторной батарее на 20 процентов.

Глава 4. Конструкционно-технологическое решение по модернизации транспортно-технологических машин

Конструкционно-технологическое решение является подготовленным или реализованным на производстве комплексным инженерным решением по модернизации транспортно-технологических машин в целом и прогрессивному методу осуществления модернизации транспортно-технологических машин в условиях реального производства.

4.1. Результаты моделирования по критериям энергоэффективности параметров модернизируемых транспортно-технологических машин

Для эффективной эксплуатации модернизированной транспортно-технологической машины в рамках производственной деятельности, как было указано в главе 2, необходимо, чтобы ее характеристики и выбранные режимы работы были адаптированы к условиям заказчика модернизации, учитывая как ресурсосбережение, так и высокую производительность. Это особенно касается электрифицированных транспортно-технологических машин, так как от правильности подбора параметров зависит производительность и продолжительность машины в реальных производственных условиях, а также ее способность самостоятельно возвратиться на базу после выполнения работ. Как уже было указано, основным параметром, адаптирующим транспортно-технологическую машину к местным условиям, является мощность, выбираемая в диапазоне от оптимальной до компромиссной $N_{\text{Норт}} \dots N_{\text{НК}}$ как показано на рисунке 2.18.

Решения принимались по критерию (2.4), с учетом особенностей использования модернизируемых транспортно-технологических машин в реальных производственных условиях. Одной из таких особенностей является необходимость переезда транспортно-технологических машин со стоянки к местам работы в пределах улично-дорожной сети, используемой предприятием. Результаты практиче-

ских расчетов показали, что это влияние переездов незначительно сказывается на общих результатах выбора оптимальной мощности транспортно-технологической машины за пределами диапазона $N_{\text{Нopt}} \dots N_{\text{НК}}$, однако влияет на общую продолжительность работы транспортно-технологической машины в течение смены или дня. Таким образом, диапазон мощностей $N_{\text{Нopt}} \dots N_{\text{НК}}$ применим как для любых предприятий, эксплуатирующих электрифицированные транспортно-технологические машины. При составлении практических рекомендаций по выбору диапазона мощностей силовой установки модернизируемой транспортно-технологической машины для соответствующих операций в условиях предприятия использовались как собственные расчеты, так и ранее полученные рекомендации [218, 217].

Для транспортно-технологических машин, используемых для наиболее энергозатратной сплошной обработки почвы – пахоты – диапазоны мощностей $N_{\text{Нopt}} \dots N_{\text{НК}}$ определены в зависимости от трех основных факторов: длины гона L (м), удельного сопротивления плуга K_O (кН/м²) и глубины вспашки a (м). Для удобства построения зависимостей соответствующие сочетания K_O и a были определены в виде удельного тягового сопротивления агрегата K_A (кН/м)

$$K_A = K_O \cdot a, \quad (4.1)$$

где K_A – удельное тяговое сопротивление агрегата, кН/м; K_O – удельное тяговое сопротивление плуга, кН/м²; a – глубина вспашки, м.

Значения удельного тягового сопротивления агрегата K_A были определены для всех возможных сочетаний удельного тягового сопротивления плуга K_O и глубины вспашки a в различных почвенно-климатических условиях. Для удобства практического применения значения L были согласованы с классами длины гона при нормировании полевых механизированных работ. Рекомендуемые диапазоны мощностей $N_{\text{Нopt}} \dots N_{\text{НК}}$ с учетом указанных особенностей для двух сочетаний K_A из (4.1) и классов длины гона приведены на рисунках 4.1 и 4.2.

Нижняя линия в каждом классе длины гона соответствует оптимальной мощности транспортно-технологической машины $N_{\text{Нopt}}$ при $\bar{z}_{\text{П}} = \bar{z}_{\text{Пmin}}$ из (2.4). Верхняя линия соответствует компромиссной мощности $N_{\text{НК}}$ при $\bar{z}_{\text{П}} = 1,05 \cdot \bar{z}_{\text{Пmin}}$.

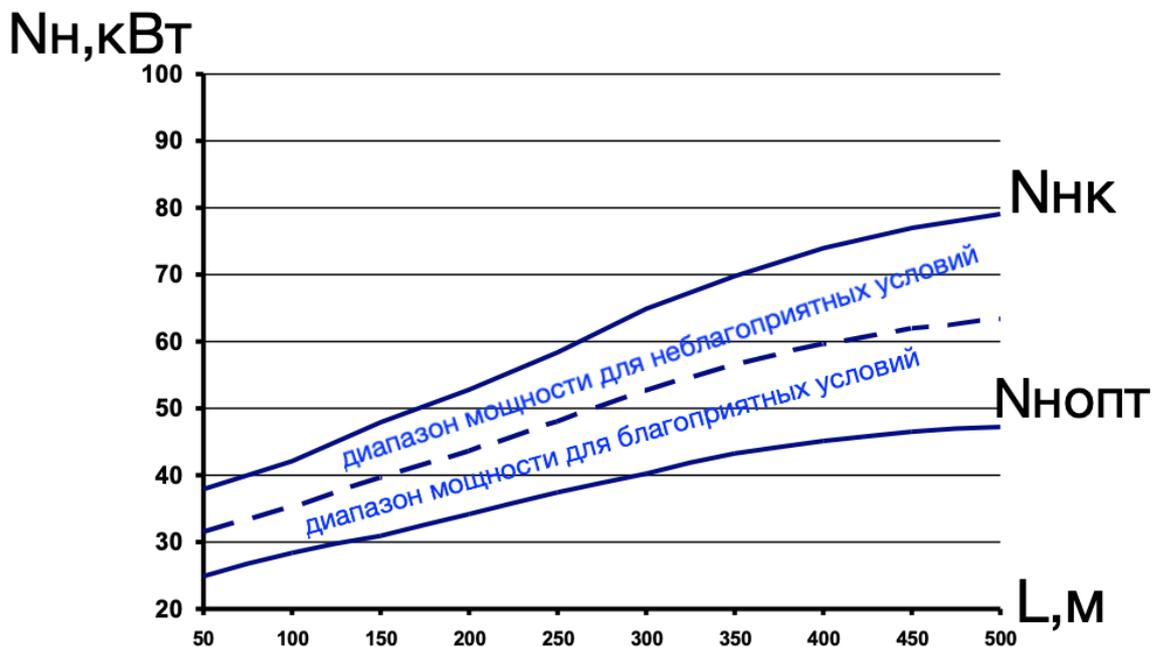


Рисунок 4.1 – Зависимость оптимальной $N_{\text{Нopt}}$ и компромиссной $N_{\text{НК}}$ мощностей от длины гона для транспортно-технологической машины при выполнении обработки почвы при $K_A=5$ кН/м

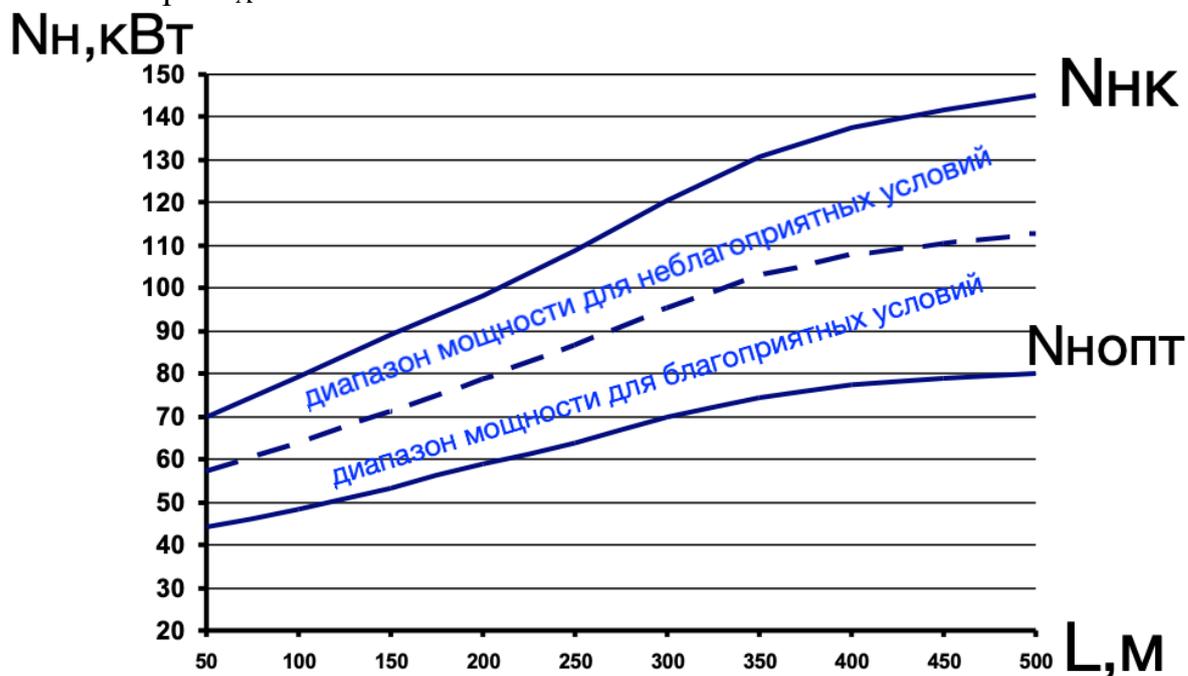


Рисунок 4.2 – Зависимость оптимальной $N_{\text{Нopt}}$ и компромиссной $N_{\text{НК}}$ мощностей от длины гона для транспортно-технологической машины при выполнении обработки почвы при $K_A=13$ кН/м

В нормальных условиях работы, например, при благоприятных климатических условиях в которых функционирует предприятие и отсутствии дефицита механизаторов, мощность силовой установки для модернизируемой транспортно-технологической машины трактора N_H следует выбирать в нижней части диапазона, показанного на рисунке для обеспечения более экономной работы и увеличения потенциального запаса хода (по ТАБ). Если контроллер управления электродвигателем позволяет менять настройки силового агрегата, установленного на модернизированной транспортно-технологической машине, то более высокие значения мощности N_H следует выбирать при менее благоприятных природно-производственных условиях из верхней половины диапазона.

Нижняя часть области графиков на рисунках 4.1-4.2 соответствует благоприятным условиям работы, в то время как верхняя часть – менее благоприятным природно-производственным условиям. Также видно, что зона компромиссного решения значительно расширяется с увеличением длины гона L .

В случае, если характеристики полей сельскохозяйственного предприятия однотипны, например, по длине гона, используя возможности настройки силового агрегата электрифицированной транспортно-технологической машины можно варьировать мощность в зависимости от изменения условий, выражаемых через удельное тяговое сопротивление агрегата, которое может иметь место при изменении глубины обработки почвы или изменения свойств почвы, например, из-за изменения влажности. Для такого подхода к определению мощности построены для графика на рисунках 4.3 и 4.4 на примере двух длин гона – небольших (до 150 метров) и средних (от 400 до 600 метров).

На основе аналогичных исследований были определены диапазоны мощностей $N_{\text{Нopt}} \dots N_{\text{НК}}$ для других распространенных вариантов использования модернизированной транспортно-технологической машины в предпосевной обработке почвы и посеве зерновых культур, результаты которых представлены на рисунках 4.5-4.7.

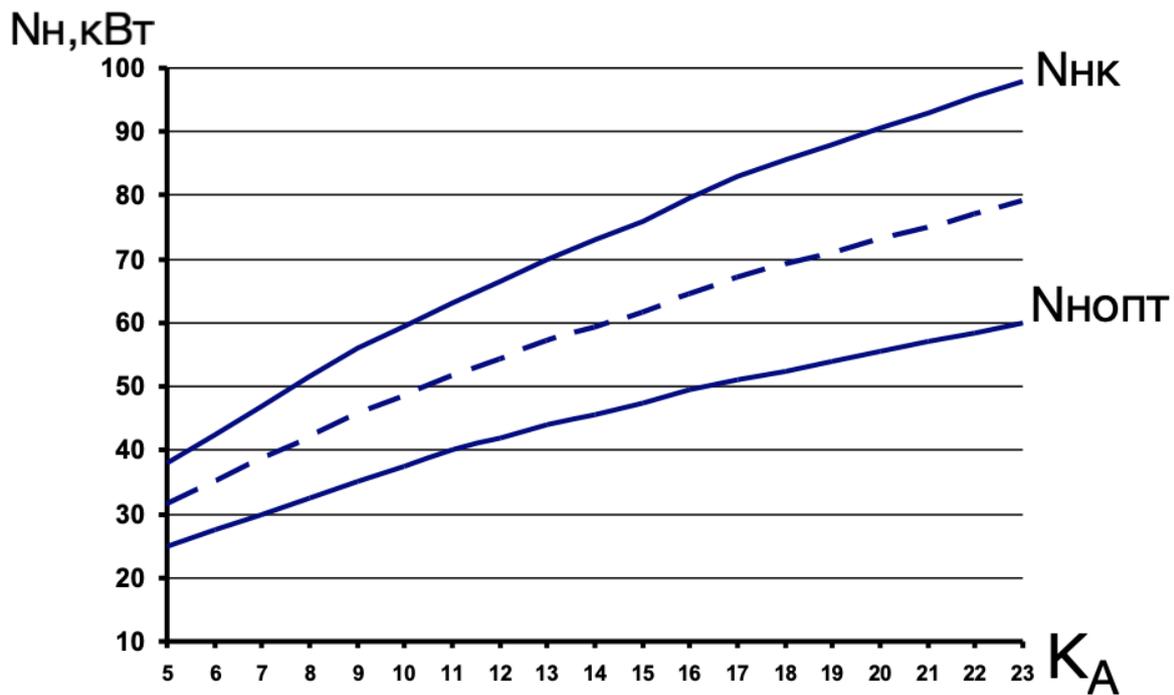


Рисунок 4.3 – Зависимость оптимальной $N_{Нопт}$ и компромиссной $N_{Нк}$ мощностей для транспортно-технологической машины при выполнении обработки почвы от удельного сопротивления K_A для длины гона L менее 150 метров

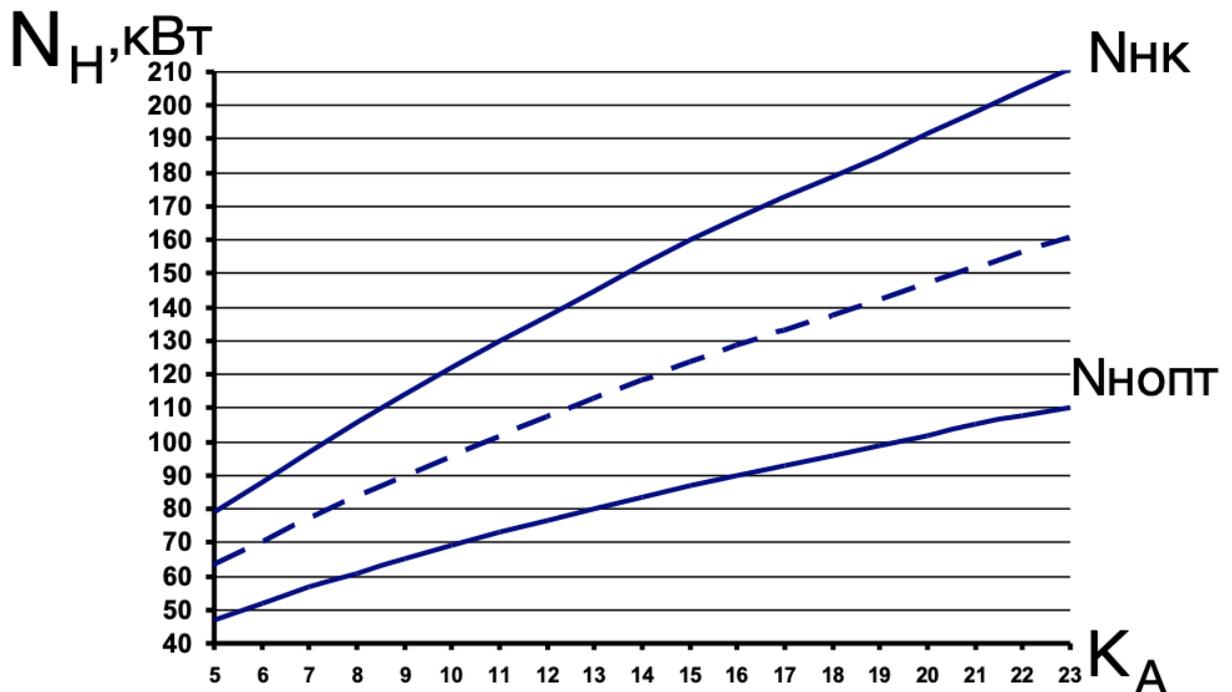


Рисунок 4.4 – Зависимость оптимальной $N_{Нопт}$ и компромиссной $N_{Нк}$ мощностей для транспортно-технологической машины при выполнении обработки почвы от удельного сопротивления K_A для длины гона L от 400 до 600 метров

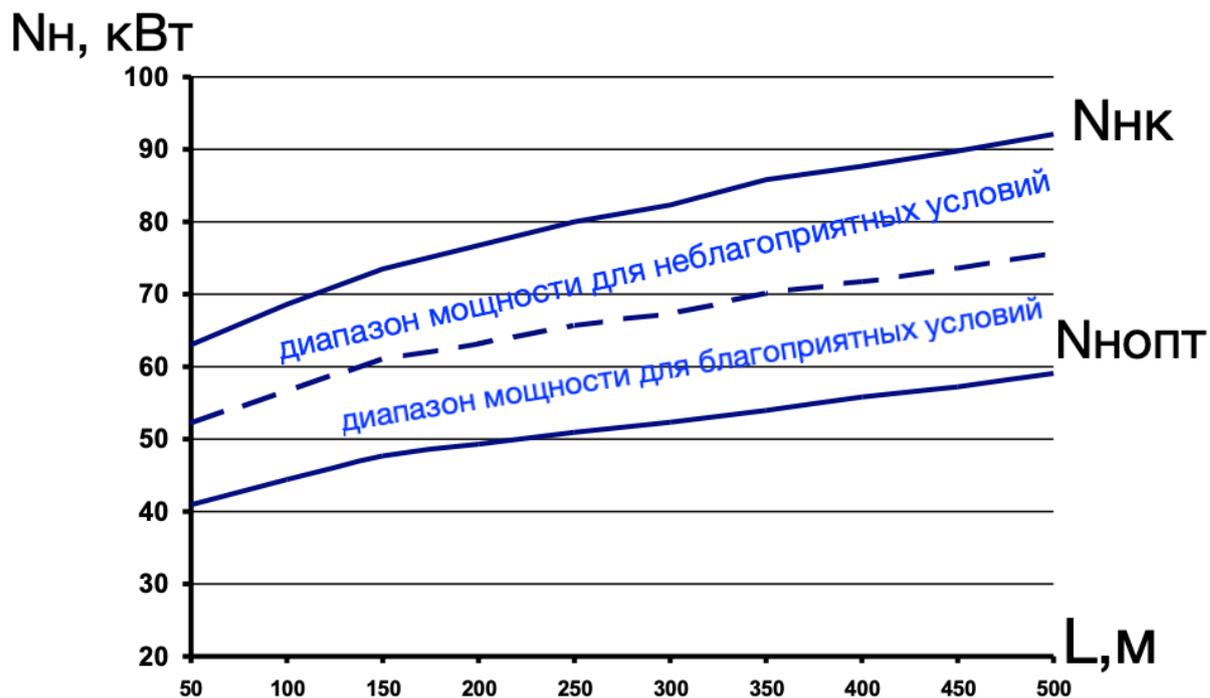


Рисунок 4.5 – Зависимость оптимальной $N_{Норт}$ и компромиссной $N_{НК}$ мощностей от длины гона для посева зерновых культур

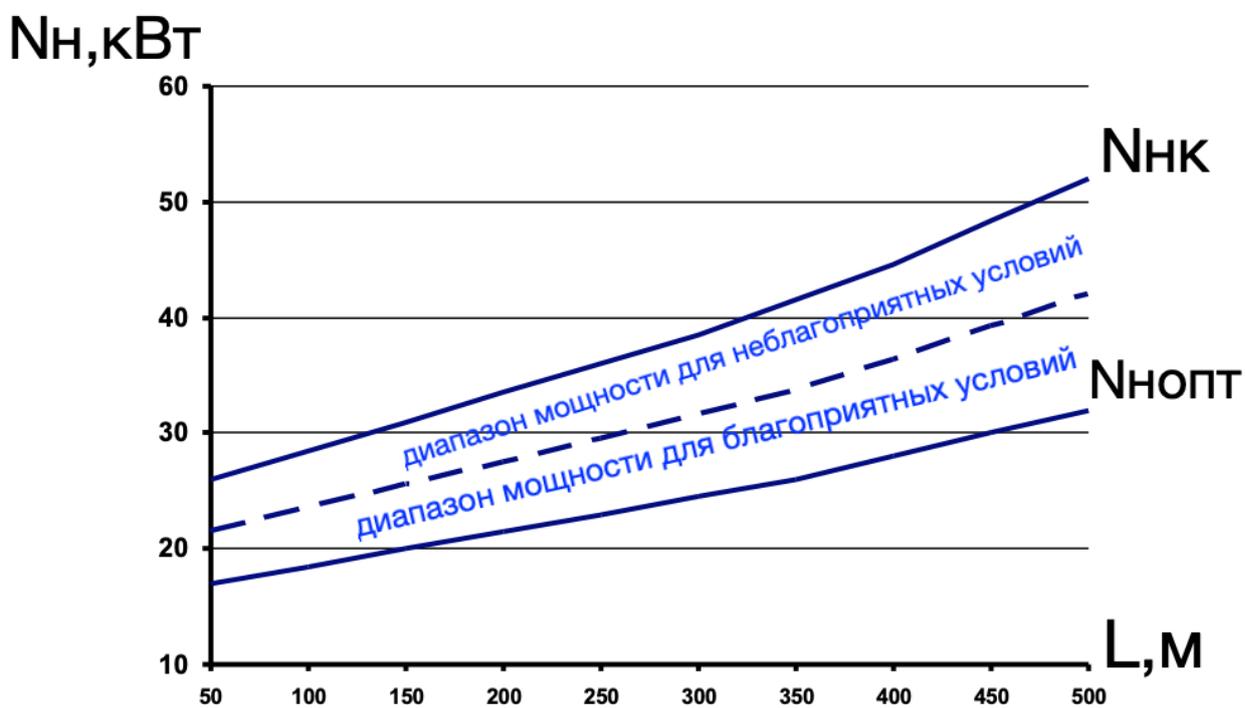


Рисунок 4.6 – Зависимость оптимальной $N_{Норт}$ и компромиссной $N_{НК}$ мощностей от длины гона для боронования зубвыми боронами

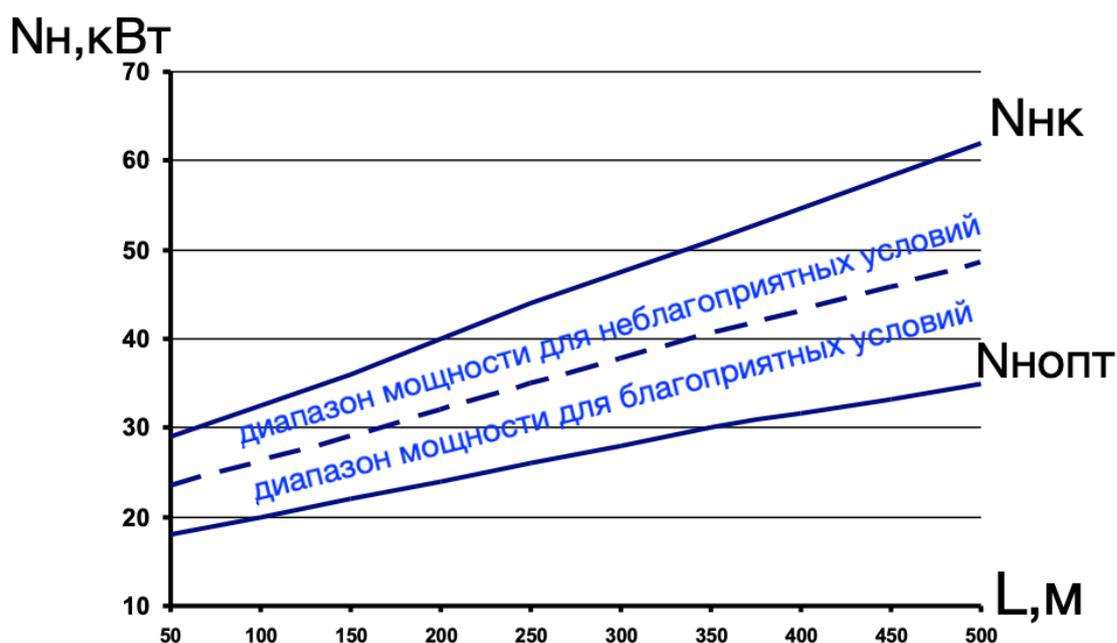


Рисунок 4.7 – Зависимость оптимальной $N_{Нopt}$ и компромиссной $N_{НК}$ мощностей от длины гона для прикатывания

Пользуясь сведениями, предоставленными собственником модернизируемой транспортно-технологической машины на этапе предпроектной работы идентифицируем наиболее вероятные условия в которых окажется транспортно-технологическая машина после модернизации. Например, основываясь на типоразмере полей сельскохозяйственного предприятия выявляем среднее значение длины гона, а анализируя парк сельскохозяйственных машин предприятия, совместимых с транспортно-технологической машиной, выбираем наиболее вероятный вид работ, который будет поручен модернизируемой машине. Пользуясь представленными на рисунках 4.1-4.7 диапазонами мощности выбираем электродвигатель, вокруг которого будет построена силовая часть транспортно-технологической машины. Критически важными параметрами электродвигателя, влияющими на подходы к модернизации и конечную конструкцию модернизируемой тягово-транспортной машины будет номинальное напряжение, максимальная частота вращения, тип системы охлаждения электродвигателя, максимальный ток. Номинальное напряжение будет определять конфигурацию ТАБ, частота вращения – тип и передаточное число редуктора, тип системы охлаждения – наличие системы термостатирования, ток – характеристики инверторов, сечение проводников и т.п.

Например, если обратить внимание на продуктовую линейку электродвигателей отечественного производства (таблица 4.1) [279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289], можно подобрать отвечающие требованиям агрегаты (рисунки 4.8 и 4.9) как для небольших хозяйств и относительно маломощных транспортно-технологических машин, так и для крупных предприятий с большими полями.

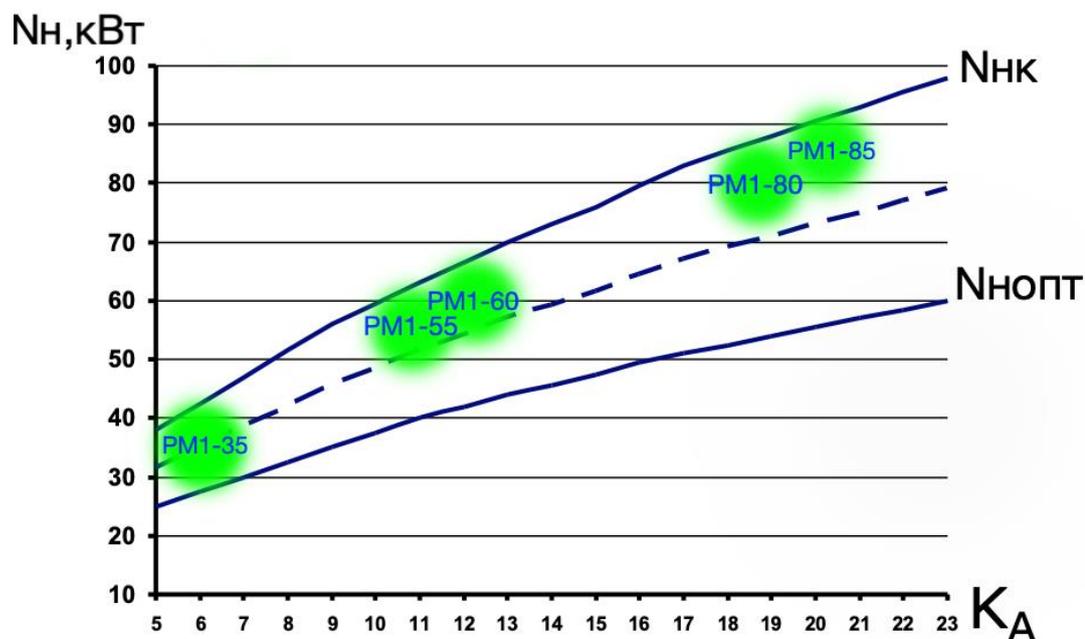


Рисунок 4.8 – Рекомендуемые варианты электродвигателей MVM-PM1 на примере линейки компании RUBRUKS для транспортно-технологической машины в хозяйствах с полями, имеющими длину гона L менее 150 метров

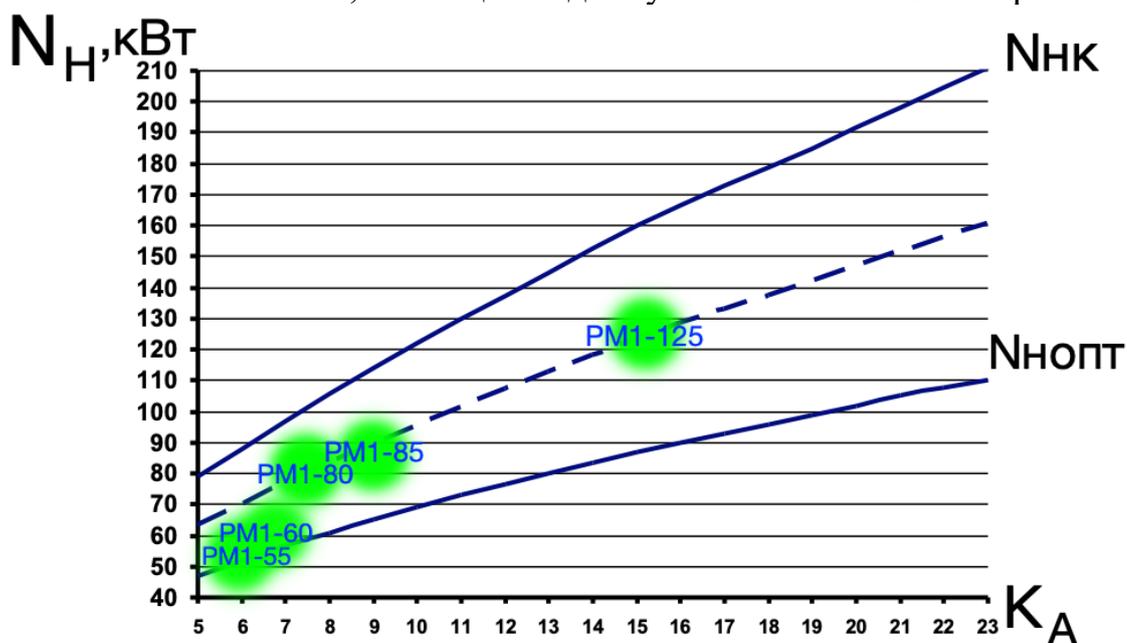


Рисунок 4.9 – Рекомендуемые варианты электродвигателей MVM-PM1 на примере линейки компании RUBRUKS для транспортно-технологической машины в хозяйствах с полями, имеющими длину гона от 400 до 600 метров

Таблица 4.1 Продуктовая линейка электродвигателей переменного тока RUBRUKS

Марка	RUBRUKS HVM												
	PM1-10	PM1-15	PM1-18	PM1-35	PM1-55	PM1-60	PM1-80	PM1-85	PM1-125	PM1-125	PM1-125	PM1-240	
Модель	PM1-10	PM1-15	PM1-18	PM1-35	PM1-55	PM1-60	PM1-80	PM1-85	PM1-125	PM1-125	PM1-125	PM1-240	
Мощность пиковая (30 сек), кВт	32	28	30	70	95	113	154	150	250	250	220	370	
Мощность номинальная, кВт	10	15	18	35	55	60	80	85	125	125	125	240	
Напряжение номинальное, В	360	360	600	360	600	360	360	600	600	600	360	600	
Частота вращения максимальная, об/мин	6000	9000	9000	5000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	
Момент пиковый (30 сек), Н·м	120	112	85	475	240	296	440	415	530	530	419	1140	
Момент номинальный, Н·м	32	40	40	210	125	130	206	210	245	245	250	640	
КПД, %	95	94	94	92	96	96	96	96	97	97	97	97	
Ток максимальный, А	30	100	50	220	150	350	450	250	450	450	550	550	
Масса, кг	26	35	35	75	63	63	80	80	95	95	95	360	
Тип системы охлаждения	возд.	жидк.	жидк.	жидк.	жидк.								

Электродвигатели переменного тока RUBRUKS MVM-PM1 являются обратимыми синхронными электрическими машинами на постоянных магнитах. Электродвигатель рассчитан на работу от напряжения 360 В или 600 В в зависимости от модели, обеспечивает максимальный пиковый крутящий момент от 85 до 1000 Н·м при номинальном крутящем моменте от 32 до 640 Н·м, кратковременную пиковую мощность от 32 до 370 кВт, при номинальной мощности от 10 до 240 кВт. Все модели линейки кроме самой маломощной имеют жидкостное охлаждение.

Электродвигатели переменного тока RUBRUKS по мнению компании производителя подходят для электромобилей, гибридных транспортных средств и сельхозтехники [279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289]. В таблице 4.1 цветовые маркеры обозначают более сложную (желтым) и более простую (зеленым) интеграцию электродвигателя в силовой агрегат модернизируемой транспортно-технологической машины. Например, организация воздушного охлаждения осуществляется существенно проще чем жидкостная. Меньшее номинальное напряжение в сети, для питания электродвигателя позволяет получить более емкую тяговую аккумуляторную батарею в том же корпусе и с той же массой как и батарея с повышенным напряжением, Меньшая частота вращения делает возможным сохранение трансмиссии модернизируемой транспортно-технологической машины.

Электродвигатель, отличающийся от традиционных безщеточных электродвигателей с постоянными магнитами, предлагает компания «Электротранспортные технологии» (EV Tech). Благодаря их отсутствию стоимость аналогичного по мощности двигателя будет почти в три раза меньше. В продуктовой линейке «Электротранспортных технологий» два электродвигателя: EVD-40 и EVD-120 [290] (таблица 4.2).

Для рабочих органов и простых транспортно-технологических машин можно использовать маломощные отечественные электродвигатели, например, такие, как предлагает дизайн-центр электроники и электротехники «Звезда». В продуктовой линейке, представленной на форуме «Развитие электротранспорта в России

– от концепции к технологическому суверенитету» они предлагают сразу три варианта электродвигателей с четырьмя вариантами передаточных чисел редукторов (таблица 4.3).

Таблица 4.2 – Продуктовая линейка электродвигателей EV Tech [290]

Марка	EV Tech	
	EVD-40	EVD-120
Модель	EVD-40	EVD-120
Мощность номинальная, кВт	40-60	150-200
Напряжение номинальное, В	250-400	750-900
Частота вращения максимальная, об/мин	9000	7000
Частота вращения номинальная, об/мин	3000	3000
Момент пиковый (30 сек), Н·м	60-190	1200
Момент номинальный, Н·м	20-60	400
Тип системы охлаждения	жидкостная	жидкостная

Таблица 4.3 – Продуктовая линейка электродвигателей дизайн-центра электроники и электротехники «Звезда»

Модель	Шедар-4	Шедар-7	Шедар-10
Мощность номинальная, кВт	4	7	10
Напряжение номинальное, В	48-72	72	96
Частота вращения максимальная, об/мин	7000	7000	7000
Частота вращения номинальная, об/мин	4500	4500	4500
Момент пиковый (30 сек), Н·м	50	75	110
Момент номинальный, Н·м	8,5	16	21
Тип системы охлаждения	воздушная	воздушная	воздушная

Бывшие в употреблении электродвигатели представлены образцами от наиболее популярных электромобилей, причем их использование возможно вместе с трансмиссией, а снимаемый с полуосей крутящий момент трансформировать до необходимой величины с использованием промежуточных или бортовых редукторов. Наиболее доступным принято считать силовой агрегат от электромобиля Nissan Leaf с трехфазным синхронным электродвигателем переменного тока

EM-61 (2010-2013, 80 кВт, максимальный крутящий момент 280 Н·м, максимальная частота вращения 10390 об/мин) или EM-51 (с 2013 года, 80...110 кВт, максимальный крутящий момент 320 Н·м, максимальная частота вращения 10500 об/мин), имеющих номинальное напряжение 360 В и жидкостное охлаждение. В соответствии с рисунком 4.8 он может быть выбран в качестве силового агрегата для транспортно-технологических машин низших тяговых классов, рассчитанных на работу на небольших полях.

Минимальным по мощности допустимым для привода в движение транспортно-технологической машины, рассчитанной на работу в простых условиях, можно признать силовой агрегат от электромобиля Mitsubishi iMiEV (трехфазный синхронный электродвигатель переменного тока Meidensha 47 кВт, максимальный крутящий момент 180 Н·м, номинальное напряжение 330 В с редуктором имеющим передаточное отношение 6,1).

Комплектование транспортно-технологической машины тяговой аккумуляторной батареей зависит от номинального напряжения, на которое рассчитан электродвигатель, составляющий основу силовой установки. Наиболее популярной величиной номинального напряжения стоит признать 360 В. Например, 6 из 11 моделей электродвигателей RUBRUKS рассчитаны на это напряжение, EV Tech EVD-40 способен работать в диапазоне напряжения 250...400 В. Электродвигатели популярных подержанных электромобилей Nissan Leaf, BMW i3, Evolute i-Pro также рассчитаны на работу под напряжением 360 В. Соответственно для создания пары силовой агрегат – тяговая аккумуляторная батарея необходимо подобрать выходное напряжение ТАБ, соответствующее потребности электродвигателя. Оптимизация затрат на модернизацию транспортно-технологической машины предполагает использование готовых решений, например напряжению 360 В соответствуют ТАБ в сборе от электромобилей Nissan Leaf, BMW i3, Evolute i-Pro. И если от электромобилей Nissan Leaf и BMW i3 ТАБ будут только подержанными, имеющими значительный возраст и потребность в обновлении ячеек, то от Evolute i-Pro ТАБ будут иметь приемлемый остаточный ресурс. Более

сложный, но технологически вполне реализуемый вариант – комплектование оригинальной батареи из готовых модулей или отдельных ячеек. Ярким примером такого решения является электромобиль Лада Эллада (рисунок 4.10) [258], где необходимое номинальное напряжение набрано 79 литий-железо-фосфатными (LiFePO₄) ячейками, распределенными на три аккумуляторных модуля, размещенных по месту. Перспективная модульная электроплатформа «Урал» комплектуется восемью аккумуляторными модулями HBV-307-100, размещенными по бокам рамы [183].

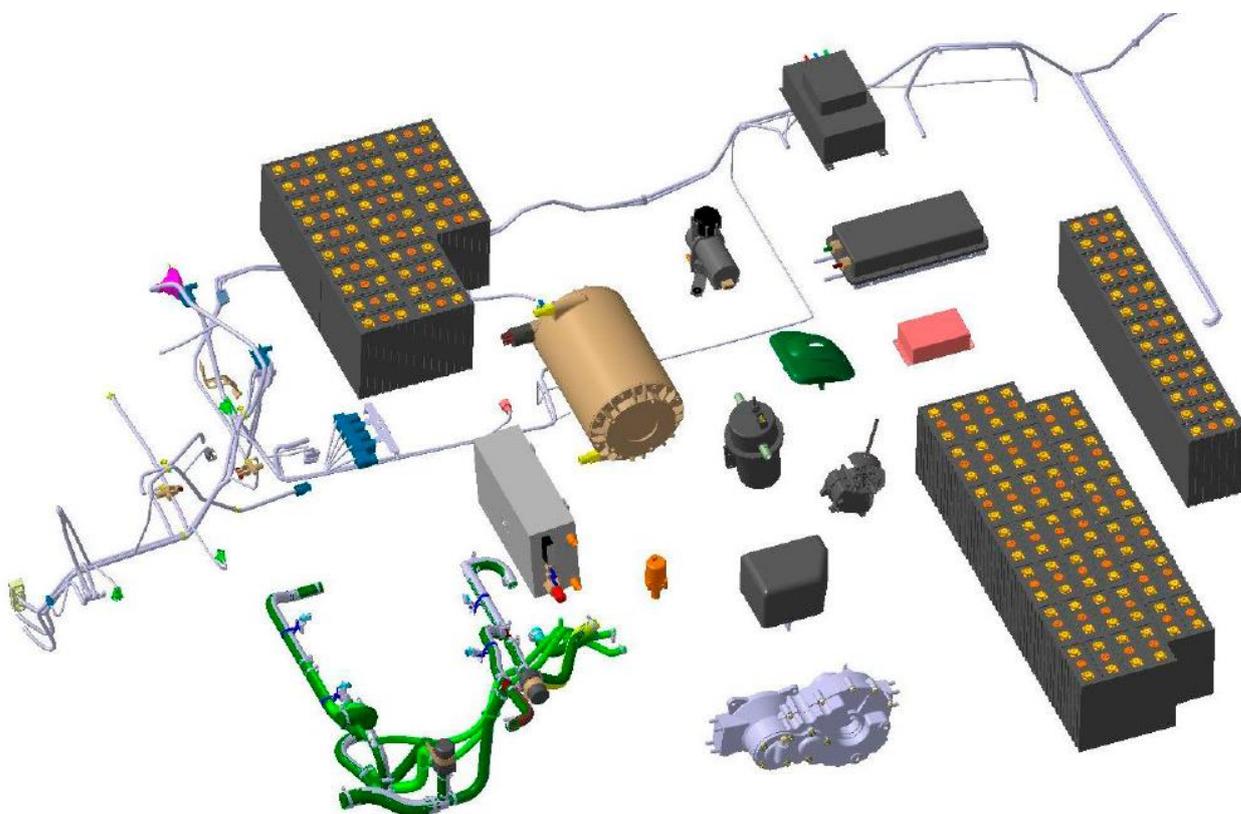


Рисунок 4.10 – Типовые компоненты тягового привода [258]

Подобный подход реализуем при модернизации любой транспортно-технологической машины и выбор компонентов будет зависеть от требований заказчика или от наличия наиболее дорогостоящих компонентов, вокруг которых будет формироваться итоговая архитектура тягового привода модернизируемой транспортно-технологической машины.

4.2. Обеспечение повторного использования агрегатов и узлов при модернизации транспортно-технологических машин

Перспективы повторного применения у основных узлов, демонтированных при ремонте или утилизации электромобиля различны и зависят они в первую очередь от состояния самих демонтированных элементов и от востребованности их на рынке вторичных деталей. Наиболее благоприятная ситуация будет характерна для распространенных марок и моделей, таких как рассмотренный в этой работе «типовой электромобиль парка». Основываясь на этом, можно принимать решение оставлять ли демонтированные элементы на складе специализированного сервисного предприятия, занимающегося обслуживанием и ремонтом электромобилей, в ожидании реализации или утилизировать для извлечения прибыли от реализации материалов, входящих в конструкцию [291, 292].

Отдельного рассмотрения требуют варианты повторного применения основных узлов тяговой аккумуляторной батареи. При разборке тяговой аккумуляторной батареи образуется несколько наименований узлов, которые имеют различный потенциал повторного использования (рисунки 4.11, 4.12, 4.13): корпус батареи; модули (субмодули), включающие безкорпусные ячейки, количество которых зависит от модификации батареи; блок управления батареями (BMU); блок силового реле (PRA); блок силового предохранителя; блоки управления ячейками батареи (CMU), количество которых зависит от модификации батареи; кабели контроля параметров и управления и силовые токоведущие шины количество которых зависит от модификации батареи.

В настоящее время наибольший спрос на запасные части и услуги, связанные с их установкой формируют собственники электромобилей, ввезенных в Россию поддержанными, несомненным лидером здесь является Nissan Leaf. Поэтому именно на примере этой модели рассмотрим несколько наиболее высококоррентельных вариантов повторного использования агрегатов и узлов, получаемых при утилизации электромобилей. Из всего набора демонтируемых из батареи узлов

организационно и технологически сложнее всего работать с корпусом и модулями.

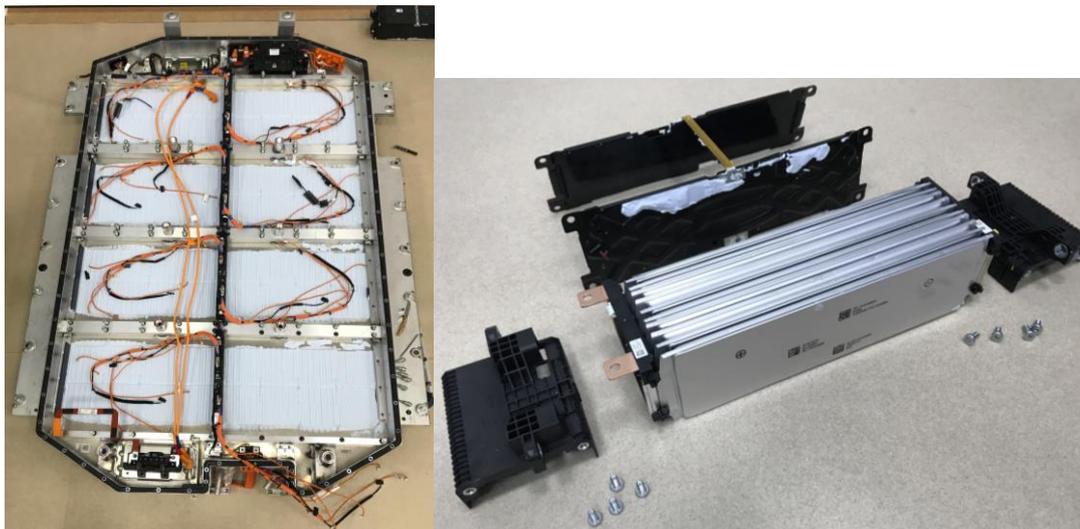


Рисунок 4.11 – Корпус и submodule тяговой аккумуляторной батареи



Рисунок 4.12 – Блок силового реле (PRA) и силовые токоведущие шины тяговой аккумуляторной батареи

4.2.1. Агрегаты. Учитывая конструкцию электромобиля и существенно меньшее количество движущихся и контактирующих между собой элементов, при утилизации электромобиля образуется значительное количество агрегатов и узлов не подверженных износу, то есть способных работать дальше даже при выходе из строя всего электромобиля. Агрегатами и узлами не имеющими явно выраженного износа принято считать электродвигатель, редуктор, силовой инвертер, зарядный инвертер, DC/DC-преобразователь, электрический нагреватель охлаждающей жидкости, силовую проводку и токоведущие шины, контакторы и много других элементов. Вариантов, кроме как использование по тому же назначению в качестве запчасти у всего этого набора агрегатов и узлов нет. Ограничением их ис-

пользования является спрос, так как электромобили даже в рамках одной модели ежегодно подвергались модернизации, делая невзаимозаменяемыми даже одинаковые позиции.

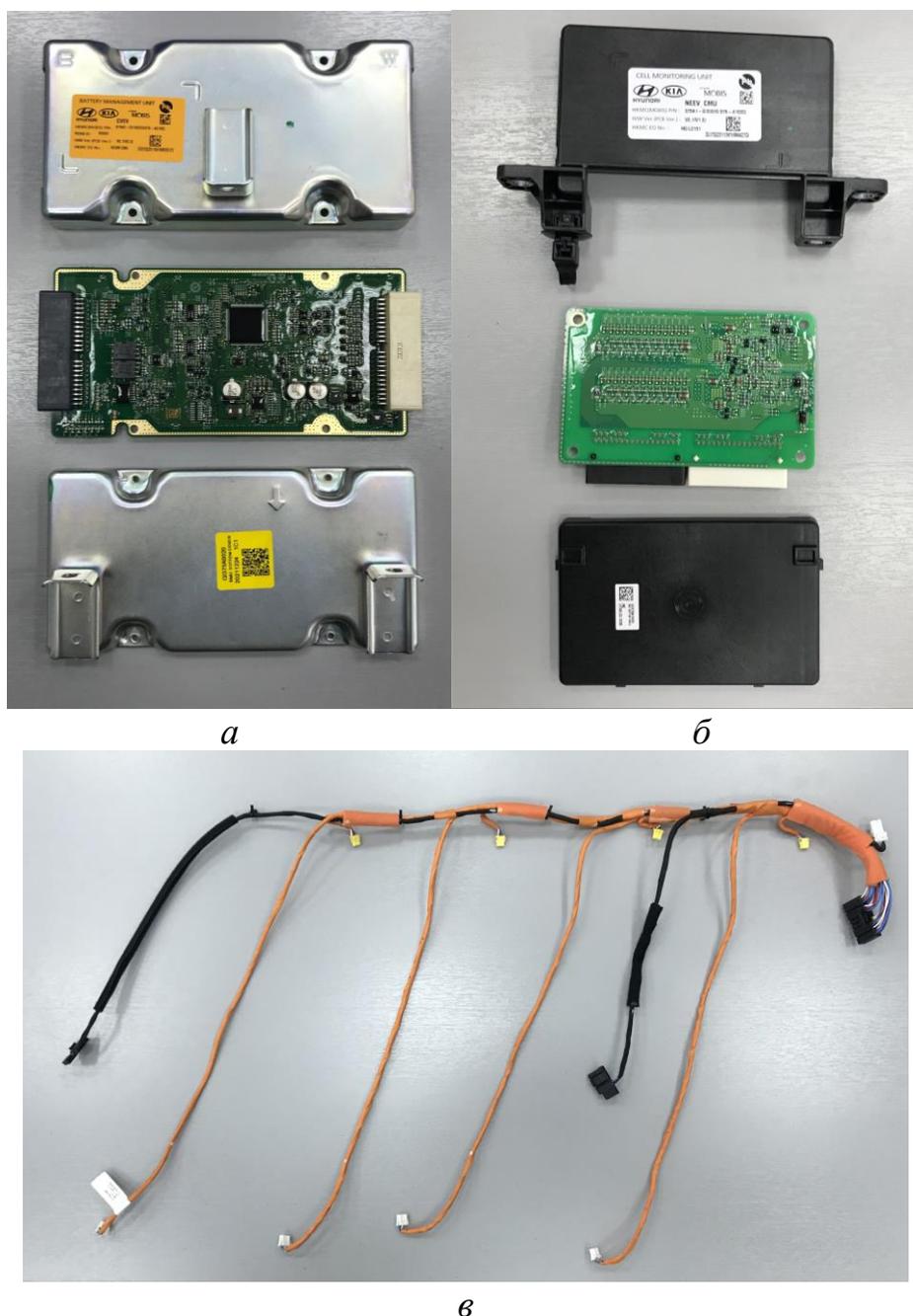


Рисунок 4.13 – Элементы низковольтных цепей тяговой аккумуляторной батареи:
а – блок управления батареями (BMU); б – блок управления ячейками батареи (CMU), в – кабель контроля параметров и управления модулем

В вопросе повторного применения агрегатов и узлов положительным фактором идет унификация применяемых электромобильных технологических плат-

форм сразу несколькими производителями, но это актуально пока только для относительно современных моделей, которые еще не начали массовое выбытие из парков. Модели электромобилей, выпускавшиеся в 2010-х годах и ранее практически не имеют одинаковых элементов.

Новым решением, способным найти применение казалось бы невостребованным электродвигателям, редукторам, силовым и зарядным инвертерам, DC/DC-преобразователям является модернизация транспортно-технологических машин или разработка альтернативных мобильных шасси под готовые агрегаты и узлы (новые и подержанные), доступные на рынке, то есть применение готового комплекта связанных друг с другом компонентов на новом шасси, позволяющее обойтись без приобретения новых агрегатов и узлов, что бывает необходимо при жестком требовании о снижении стоимости модернизации.

В настоящее время уже есть примеры применения вторичных агрегатов электромобилей на беспилотных транспортных средствах, как колесных, так и гусеничных. Например, компания «МПК-Сталь» разработала беспилотный транспортировщик «МК 750» с «ломающейся» рамой (рисунок 4.14) [293]. В задней части машины расположен вилочный подъемник, имеющий грузоподъемность около 1 тонны, способный загружать с поверхности груз, размещенный на стандартном поддоне. Передняя часть транспортировщика включает ведущий мост от автомобиля УАЗ и силовую установку, состоящую из электродвигателя от электромобиля Nissan Leaf и комплекта свинцово-кислотных стартерных батарей вместо штатных литий-ионных, так как, например, в боевых условиях их повреждение не приведет к возгоранию машины, а замена не будет обременительна, их недостаток – относительно небольшой запас хода и ресурс самих батарей при таком варианте использования.

Второй вариант беспилотного транспортного средства на гусеничном шасси ПГ-2 предложен опытным заводом «Микрон». Проходимость у гусеничном шасси выше, а грузоподъемность больше, чем у колесного (в данном случае 200 кг). Питание электропривода обеспечивает литий-железо-фосфатная батарея LiFePO_4

напряжением 48 В и емкостью 105 А·ч, имеющая большой ресурс при таком варианте использования и хорошую безопасность.

Еще один вариант использования компонентов электромобилей – модернизация малогабаритных грузовых транспортных средства, типа трицикла с заменой ДВС на электромотор мощностью 1 кВт и установкой тягового аккумулятора напряжением 60 В для использования в селекции и семеноводстве [294].



Рисунок 4.14 – Беспилотный транспортер «МК 750» от компании «МПК-Сталь» на военно-технической выставке «Армия-2024» [293]

4.2.2. ТАБ. Повторное использование корпусов тяговых аккумуляторных батарей предполагает действия, которые описываются типовым требованием к капитальному ремонту – то есть восстановление ресурса изделия до уровня нового. Однако, это было бы справедливо, если бы при ремонте использовали новые оригинальные ячейки, но, учитывая изменения характеристик динамично модернизируемых ячеек, появление новых более энергоэффективных изделий, а также санкции, направленные и на поставку компонентов электромобилей, практически ни один ремонт, выполняемый в России, не характеризуется использованием оригинальных ячеек, соответствующих модели батареи.

Как правило, для моделей электромобилей выпуск которых прекращен специализированными сервисными предприятиями подбирается комплект не оригинальных ячеек стороннего производителя, позволяющих получить требуемые параметры батареи по рабочему напряжению. При этом емкость батареи может оказаться даже больше, чем была, когда батарея была выпущена заводом производи-

телем. То есть в большинстве случаев имеет место ремонт с модернизацией. Учитывая, что форм-фактор новых ячеек может существенно отличаться от оригинальных, то для ремонтируемой батареи создаются проставки-холдеры, позволяющие смонтировать любую ячейку в старом корпусе. Производство проставок-холдеров зачастую выполняется при помощи 3D принтеров после сканирования корпуса и является оригинальной разработкой специализированного сервисного предприятия, если готового решения не успели предложить производители ячеек, которые будут использованы при ремонте.

При реализации технологического процесса повторного использования корпуса важное значение имеет выбор ячеек для формирования параметров восстановленной батареи. От качества подобранных ячеек зависит надежность восстановленной батареи, а, следовательно, привлекательность такого способа восстановления рабочих характеристик. Для реализации процесса работы с выведенными из эксплуатации тяговыми аккумуляторными батареями в условиях специализированного сервисного предприятия был разработан алгоритм действий персонала (рисунок 4.15).

Процесс восстановления интересен тем, что здесь возможно выполнение обезличенного ремонта, то есть потребителю услуги по восстановлению не обязательно ждать переборки его устройства, в можно на условиях взаимозачета получить сразу готовую к использованию батарею. Таким образом для сборки новой батареи важен контроль качества ячеек-заменителей, а для этого практикуется трехэтапный контроль.

Первый этап – входной, поставщик, как правило из Китая, делает тест емкости ячеек, осматривает элементы на целостность, замеряет внутреннее сопротивление, проверяет отсутствие замыкания на корпус. Когда элементы получает специализированное сервисное предприятие наступает второй этап входного контроля качества. Выполняются те же самые тесты, что проводит производитель, но уже силами сотрудников предприятия: визуальный осмотр, замер внутреннего сопротивления, напряжения, исключение замыкания на корпус.

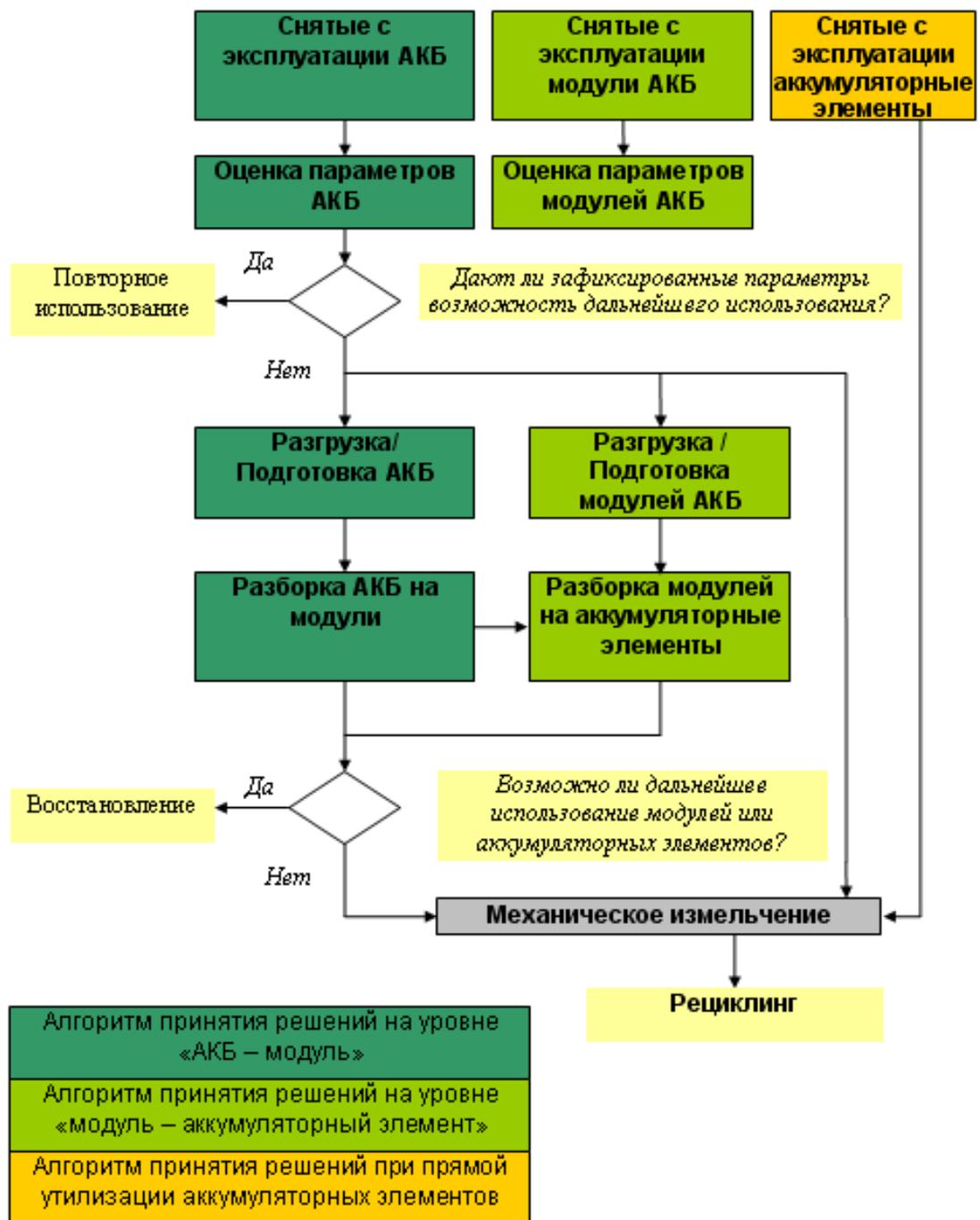


Рисунок 4.15 – Алгоритм действий персонала специализированного сервисного предприятия при работе с выведенной из эксплуатации тяговой аккумуляторной батареей

Третий этап – операционный контроль. Заключается в том, что на каждую восстанавливаемую батарею создается своя технологическая карта, то есть сотрудники производят все операции в соответствии с четко изложенными в документе требованиями. Это касается как работ по монтажу элементов, так

и работ по изготовлению шин, так как использование оригинальных становится невозможным с не оригинальными ячейками, распайки балансирующей части батареи, монтажу изоляционных прокладок из текстолита и пластика. Также к операционному контролю качества можно отнести «применение специальных технических средств». Они позволяют контролировать правильность распайки и соединения электрических балансирующих проводов и шин, путем мониторинга за подключением.

На завершающем этапе выполняется контроль качества готовой продукции путем повторного замера напряжения готовых сборок из ячеек с оценкой соответствия показателей восстановленной батареи нормативным. Финальным элементом контроля качества восстановленной батареи является тестовый разряд и заряд. Для этого подключается разрядный стенд через датчик тока и в процессе разряда батареи до нормативного уровня оценивается, её емкость и возникает ли при разряде разбалансировка ячеек. Контролируется баланс ячеек и в процессе разряда полностью заряженной батареи и при тестовом разряде полностью заряженной батареи. После герметизации батарея устанавливается на автомобиль и проводятся финальные тесты по работе батареи на электромобиле под нагрузкой в разных режимах. Если на каком-либо этапе происходит выход тяговой батареи из нормативных характеристик то она возвращается на предыдущую стадию производства и корректируется.

4.2.3. Ячейки и модули. После восстановления тяговой аккумуляторной батареи на примере электромобиля Nissan Leaf остается значительное количество формально не пригодных к дальнейшему использованию модулей, содержащих от двух до четырех ячеек. В электромобилях различных моделей их количество может варьироваться в зависимости от ёмкости и рабочего напряжения батареи.

Например, после восстановления тяговой аккумуляторной батареи электромобиля Nissan Leaf остается 96 ячеек с номинальным напряжением 3,65 В и емкостью 116 А·ч. Стандартный модуль батареи Nissan Leaf включает две ячейки и у него номинальное напряжение 7,2 В и остаточная емкость примерно

30...35 А·ч, в зависимости от фактического состояния передаваемой на восстановление батареи. При этом новые ячейки имеют емкость от 66 до 82 А·ч, в зависимости от модификации Nissan Leaf.

Модуль Nissan Leaf в кузове ZE0 выполнен закрытым, то есть безкорпусные ячейки-пакеты здесь полностью закрыты корпусом со всех сторон. Похожий типоразмер имеют модули от Nissan Leaf с батареями емкостью 30 кВт·час и 40 кВт·час. В отличие от предыдущей модификации батареи они имеют сдвоенное исполнение. В одном модуле четыре ячейки, а не две, как было в предыдущей модификации. Эти модули обычно хранятся на складе специализированного сервисного предприятия и реализуются людям, которые занимаются производством, изготовлением различных устройств. От систем резервного питания частных домов до самоходных транспортных средств. Предприятий, которые бы использовали эти ячейки для постройки систем резервного питания в настоящее время нет, а сам рынок систем резервного питания планирует захватить «Росатом», предложив готовые решения на основе ячеек собственного производства. Соответственно потребность в бывших в употреблении ячейках и модулях возникнет только у розничного потребителя.

С использованием модулей от Nissan Leaf производится большая номенклатура различных устройств. Из всего многообразия востребовано всего несколько наименований изделий. Одним из самых популярных направлений использования отслуживших в тяговой батарее аккумуляторных ячеек Nissan Leaf являются системы автономного питания частных домов. Эта система состоит из аккумулятора, собранного из ячеек Nissan Leaf, гибридного инвертора и иногда может быть дополнена солнечными панелями, если это требуется. Гибридный инвертор многофункционален. Он работает так, что запитанные через него потребители всегда остаются с электроснабжением от аккумулятора. То есть, когда выключают внешнюю подачу энергии потребители, которые запитаны от гибридного инвертера, остаются работать от аккумулятора. Когда электроснабжение восстанавливается, гибридный инвертер в автоматическом режиме

начинает заряжать аккумулятор. Эта система очень полезна для частных домов, для садоводческих товариществ, где часто выключают свет. В таких домах жизненно важно, чтобы при отключении света работали насосы систем отопления, газовые котлы, скважинный насос, видеокамеры и другие устройства, например, холодильники или морозильные камеры.

Одной из разновидностей систем резервного питания является ее мобильный аналог. Он также состоит из аккумуляторных ячеек Nissan Leaf, собранных в единый блок с зарядно-разрядным устройством и, как правило, всегда доукомплектован солнечными панелями. Эти системы отличает то, что они более компактны и могут применяться на подвижных объектах, такие как автодома, кемперы, небольшие туристические стоянки, пастбища, лагеря и так далее.

Еще одно из распространенных устройств, созданных из элементов батареи Nissan Leaf – накопитель-пусковое устройство (рисунок 4.16). Оно выполняет сразу несколько функций. Первое это снабжение электроэнергией в тех местах, где нет внешнего питания. Для этого есть специальный коннектор, работающий под управлением БМС. Благодаря этому накопитель не может полностью разрядиться и слишком сильно зарядиться, что очень важно для сохранения ресурса ячеек и обеспечения безопасности использования.

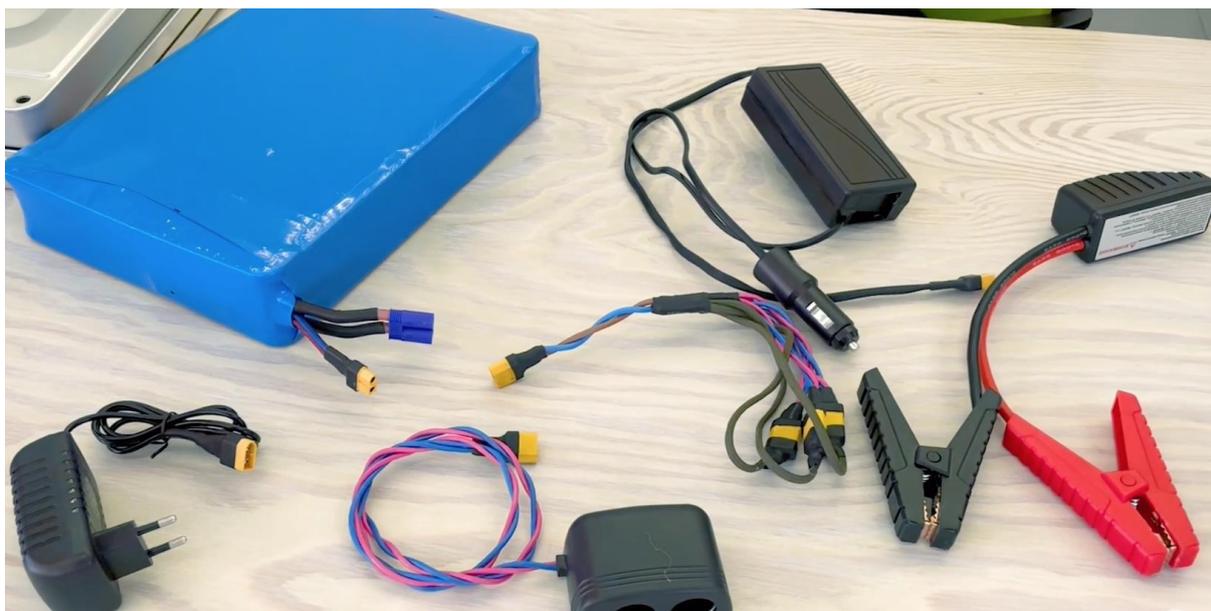


Рисунок 4.16 – Портативный накопитель энергии

Второе назначение устройства – это пусковое устройство для двигателя автомобиля. С помощью зажимов его можно подключить к разряженному низковольтному аккумулятору автомобиля. Пусковое устройство, собранное на ячейках от электромобиля имеет емкость 34 А·ч и рабочее напряжение 12 В, что в 2...3 раза больше, чем у серийных китайских изделий, предлагаемых на рынке.

Портативные накопители энергии предназначены для того, чтобы обеспечить электропитанием потребителей в условиях, когда отсутствует внешнее электроснабжение, а также тогда, когда нецелесообразно применение топливного генератора. Сфера применения этих устройств достаточно обширна. Начиная с освещения лагеря на кемпинге и заканчивая электроинструментом, а также технологическим оборудованием, например, холодильными камерами и даже доильными аппаратами. Кроме того, данное оборудование используют даже в научных целях, чтобы обеспечить питанием специальное измерительное оборудование в дальних экспедициях.

4.3. Закономерности формирования производственно-технической базы специализированных сервисных предприятий

Технологическое обеспечение модернизации транспортно-технологических машин, как уже указывалось выше, не будет представлять интереса для производителей массовых моделей электрифицированной техники. Следовательно, главным исполнителем заявок на модернизацию транспортно-технологических машин будут специализированные сервисные предприятия, которые в настоящее время только лишь усилиями специалистов-энтузиастов выходят на рынок сервисных и смежных услуг. Варианты их работы могут быть самыми разными от выполнения заявок на модернизацию транспортно-технологических машин по заявке собственника, что достаточно сложно организационно, до разработки собственных проектов транспортно-технологических машин для локальных вариантов использования, например, для сельскохозяйственных предприятий, складских хозяйств, жилищно-коммунальных предприятий, где необходима самоходная в том числе и

беспилотная техника. Практически не возможен выход таких предприятий на рынок электромобилей из-за сложности соответствия продукции требованиям технического регламента к колесным транспортным средствам, а вот соответствие проектов техническому регламенту к самоходным машинам вполне достижимо.

Таким образом, производственный процесс специализированного сервисного предприятия будет состоять из четырех блоков, формируя четыре траектории работы с клиентом (рисунки 4.17-4.20):

- техническое обслуживание электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин;
- текущий ремонт электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин с агрегатной заменой;
- текущий ремонт электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин с восстановлением агрегатов и узлов;
- модернизация транспортно-технологических машин с установкой электропривода и ТАБ, модернизация ТАБ электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин.

Анализ хронометражных наблюдений, выполненных в лаборатории кафедры тракторов и автомобилей, а также в ряде независимых сервисных предприятий позволил установить, что значение α в (2.21) укладывается в диапазон значений от 0,6 до 1,2, которые взяты за основу моделирования производственных процессов предприятия и визуализации зависимостей, рассмотренных выше на рисунках 3-9. Представленные на рисунках 4.21-4.27 данные показывают, что увеличение количества мест m в очереди дает положительный эффект, связанный с уменьшением вероятностей простоя рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей P_O и ухода клиентов не обслуженными P_{OTK} и соответственно их суммы $P_{OПmin}=P_O+P_{OTK}$.

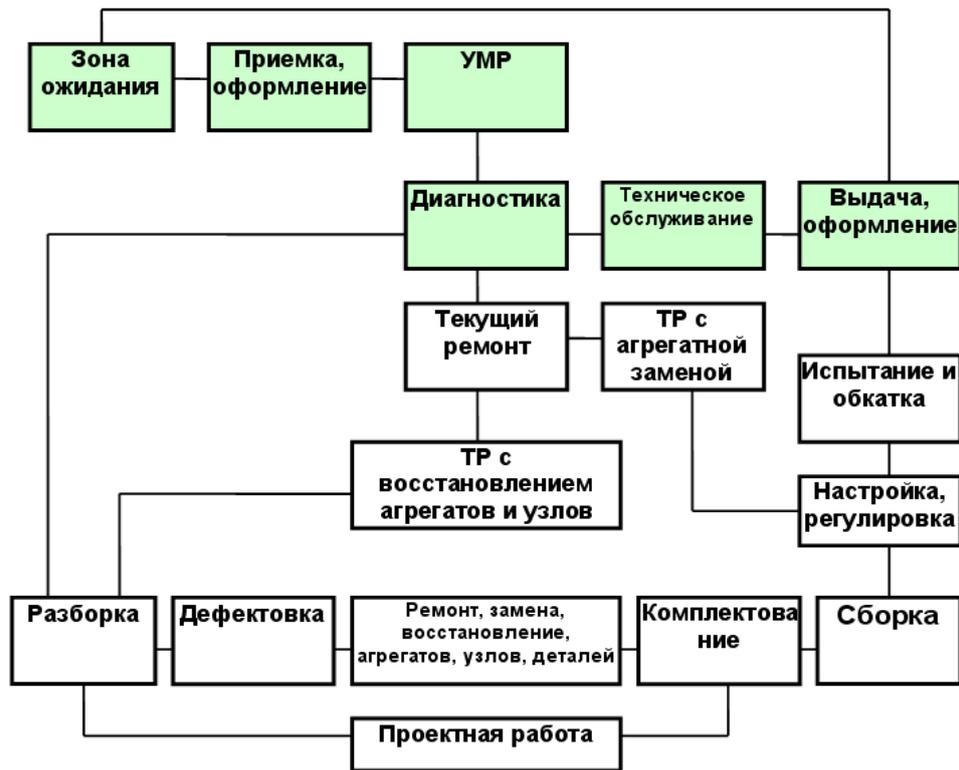


Рисунок 4.17 – Техническое обслуживание электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин в условиях специализированного сервисного предприятия

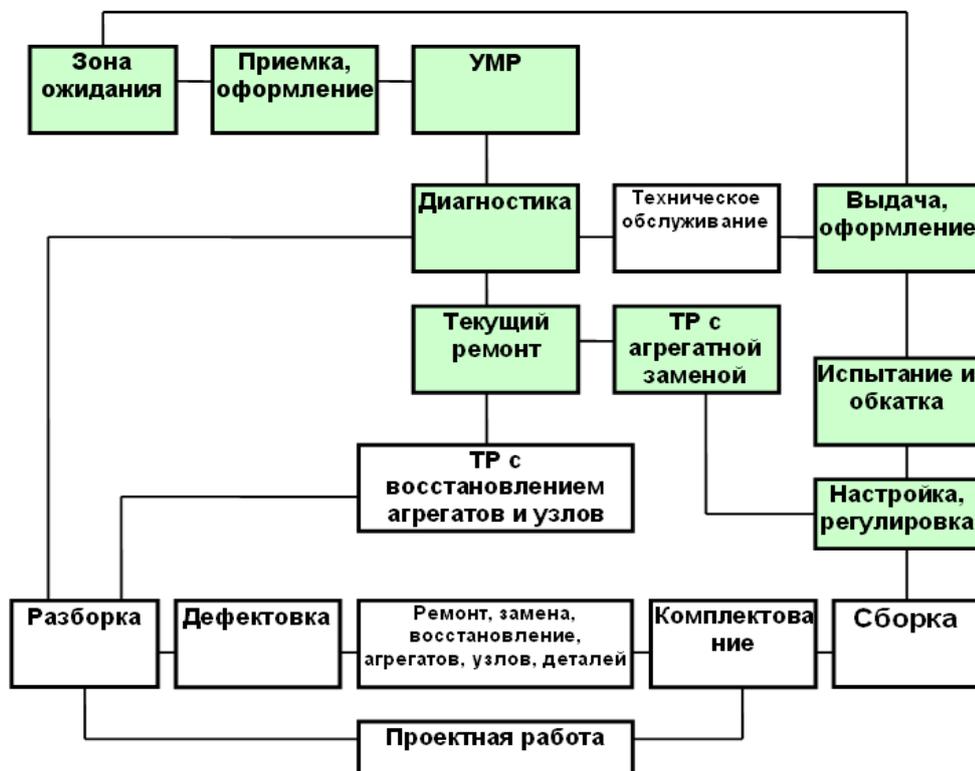


Рисунок 4.18 – Текущий ремонт электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин с агрегатной заменой в условиях специализированного сервисного предприятия

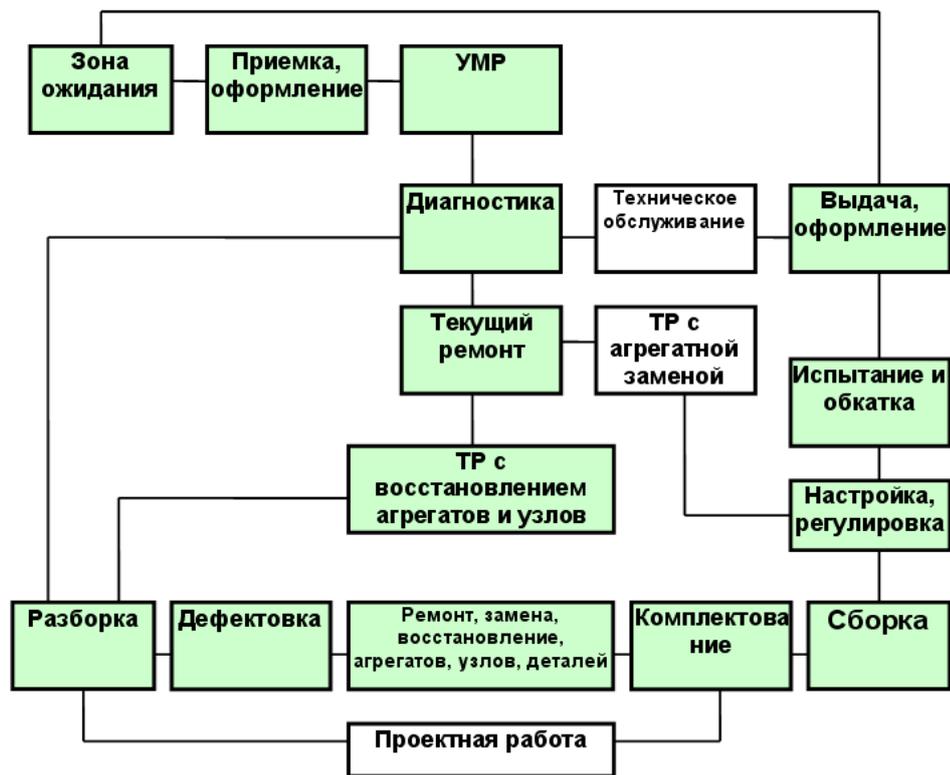


Рисунок 4.19 – Текущий ремонт с восстановлением агрегатов и узлов электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин (не обозначенный) в условиях специализированного сервисного предприятия

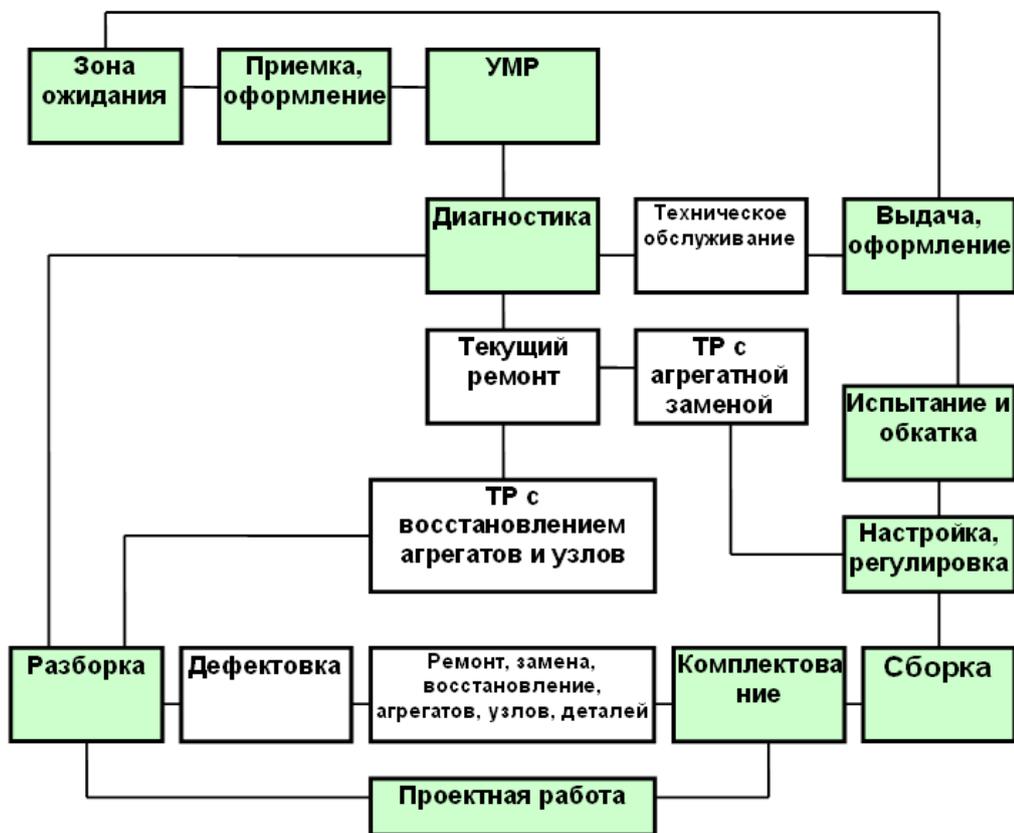


Рисунок 4.20 – Модернизация транспортно-технологической машины с установкой электропривода в условиях специализированного сервисного предприятия

Также имеет место рост относительной пропускной способности рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей или доли обслуженных клиентов q_{OT} . При этом следует заметить, что рост q_{OT} достигается за счет удлинения очереди r_O и роста продолжительности пребывания в очереди $T_{OЖ}$, а вовсе не за счет совершенствования организации труда на рабочих постах специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей посредством применения более современного технологического оборудования, повышения уровня механизации и автоматизации труда и более широкого внедрения цифровых технологий.

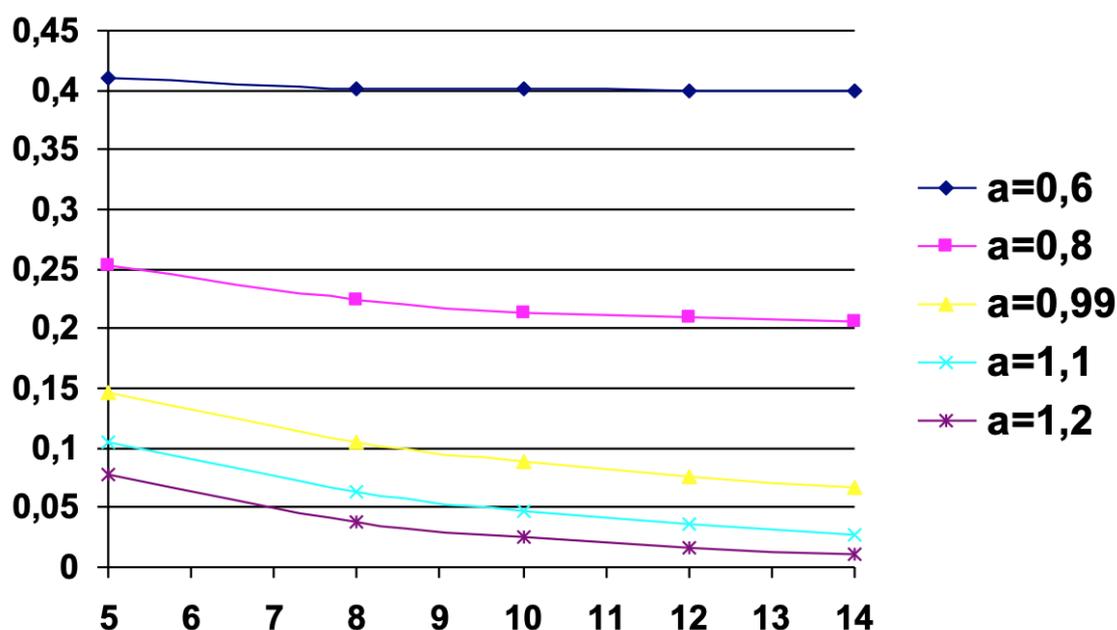


Рисунок 4.21 – Зависимость вероятности простоя рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей P_O в зависимости от количества машино-мест ожидания при различных сочетаниях соотношения потока обращений клиентов и интенсивности их удовлетворения α

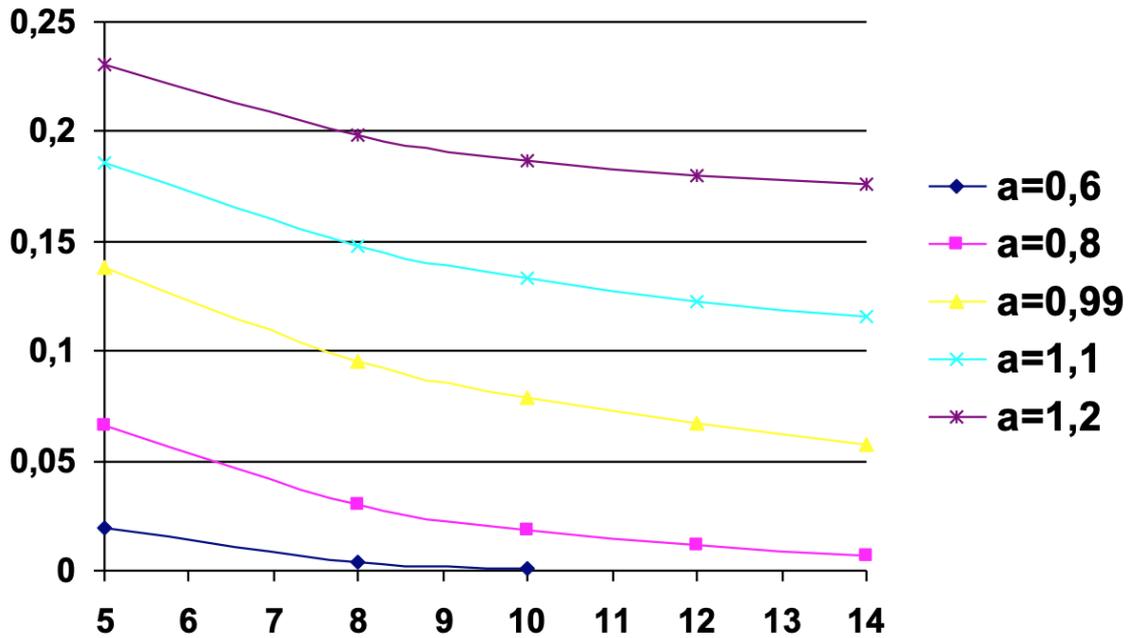


Рисунок 4.22 – Зависимость вероятности простоя рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей $P_{отк}$ от количества машино-мест ожидания при различных сочетаниях соотношения потока обращений клиентов и интенсивности их удовлетворения α

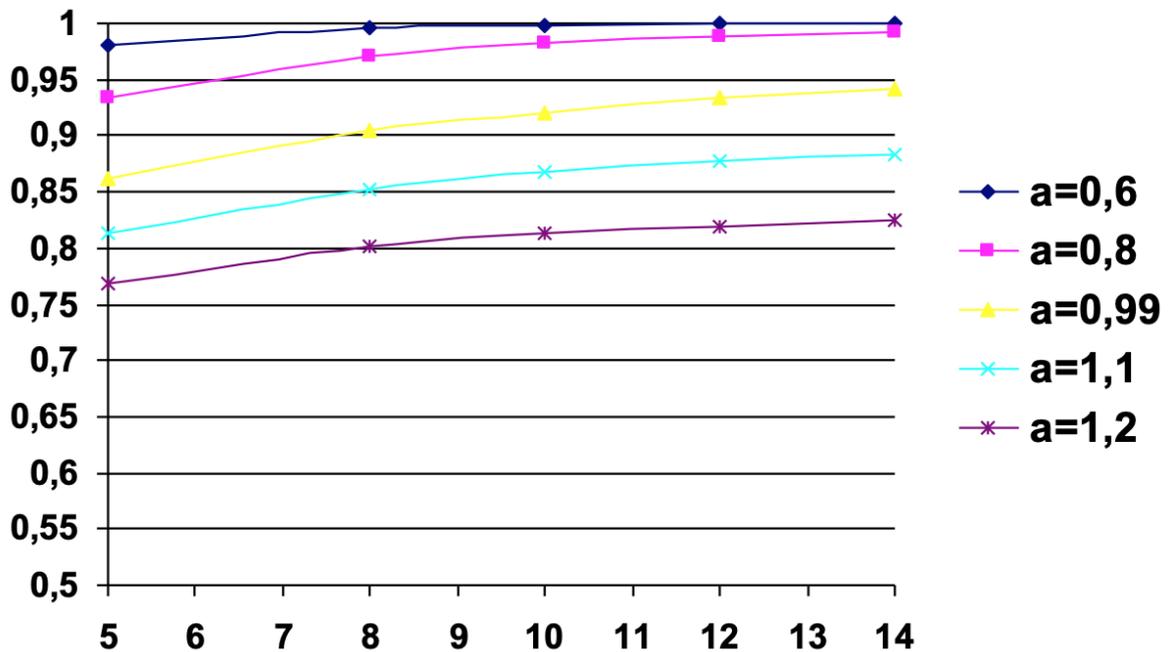


Рисунок 4.23 – Зависимость относительной $q_{от}$ пропускной способности рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей от количества машино-мест ожидания при различных сочетаниях соотношения потока обращений клиентов и интенсивности их удовлетворения α

Как уже было указано выше в (2.30), не рекомендуется, чтобы величина продолжительности пребывания клиента в ожидании превышала допустимые пределы $T_{ПД}$. Данные, показанные на рисунке 4.24, иллюстрируют, что с увеличением длины очереди r_O незначительно возрастает и число клиентов r_{OB} находящихся на обслуживании на рабочих постах специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта автомобилей. Например, когда количество мест ожидания увеличивается с 5 до 14, длина очереди r_O возрастает с $r_O=2,107$ до $r_O=6,3538$, то есть более чем в три раза, то соответствующее увеличение r_{OB} с $r_{OB}=0,853$ до $r_{OB}=0,9326$ составляет всего около 10 %.

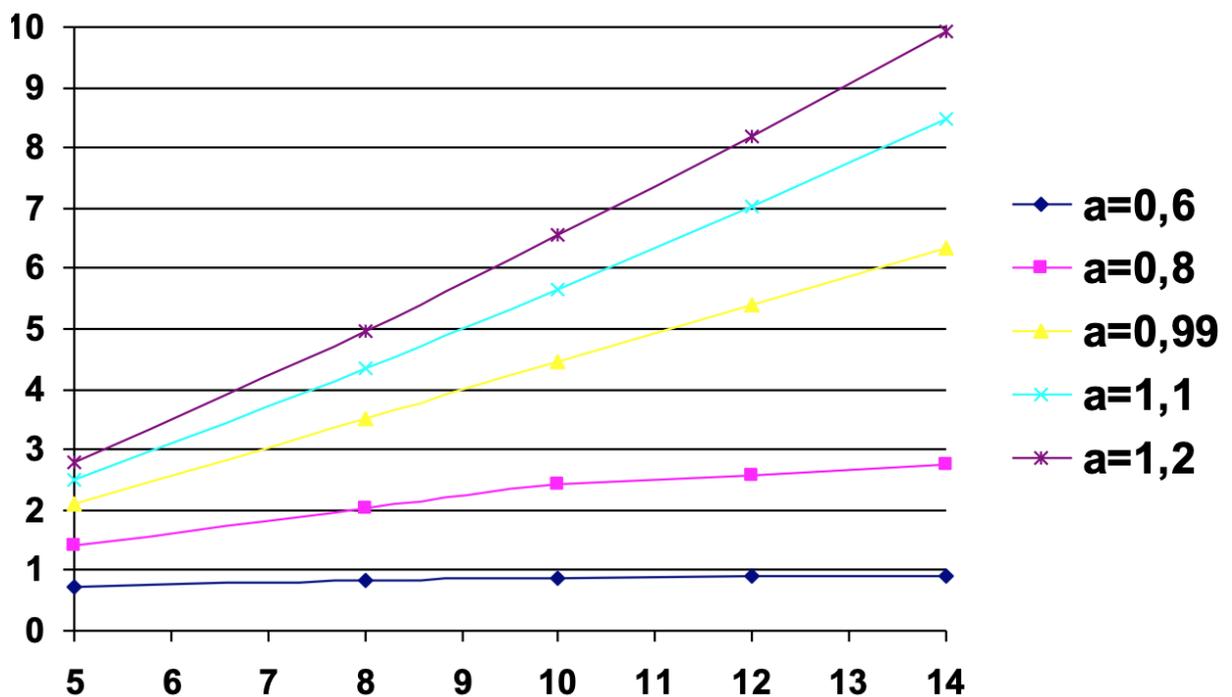


Рисунок 4.24 – Зависимость количества обращений клиентов, ожидающих в очереди r_O на специализированном сервисном предприятии технического обслуживания и ремонта автомобилей от количества машино-мест ожидания при различных сочетаниях соотношения потока обращений клиентов и интенсивности их удовлетворения α

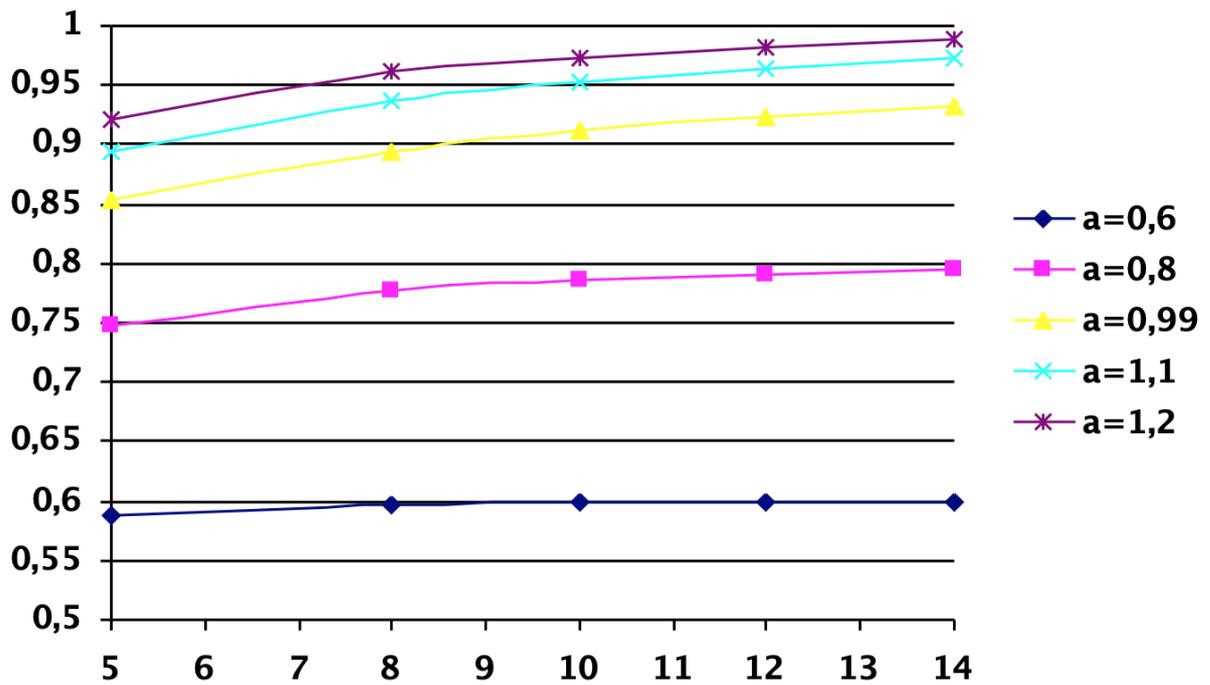


Рисунок 4.25 – Зависимость количества обращений клиентов, находящихся на обслуживании $r_{об}$ на специализированном сервисном предприятии технического обслуживания и ремонта электромобилей от количества машино-мест ожидания при различных сочетаниях соотношения потока обращений клиентов и интенсивности их удовлетворения α

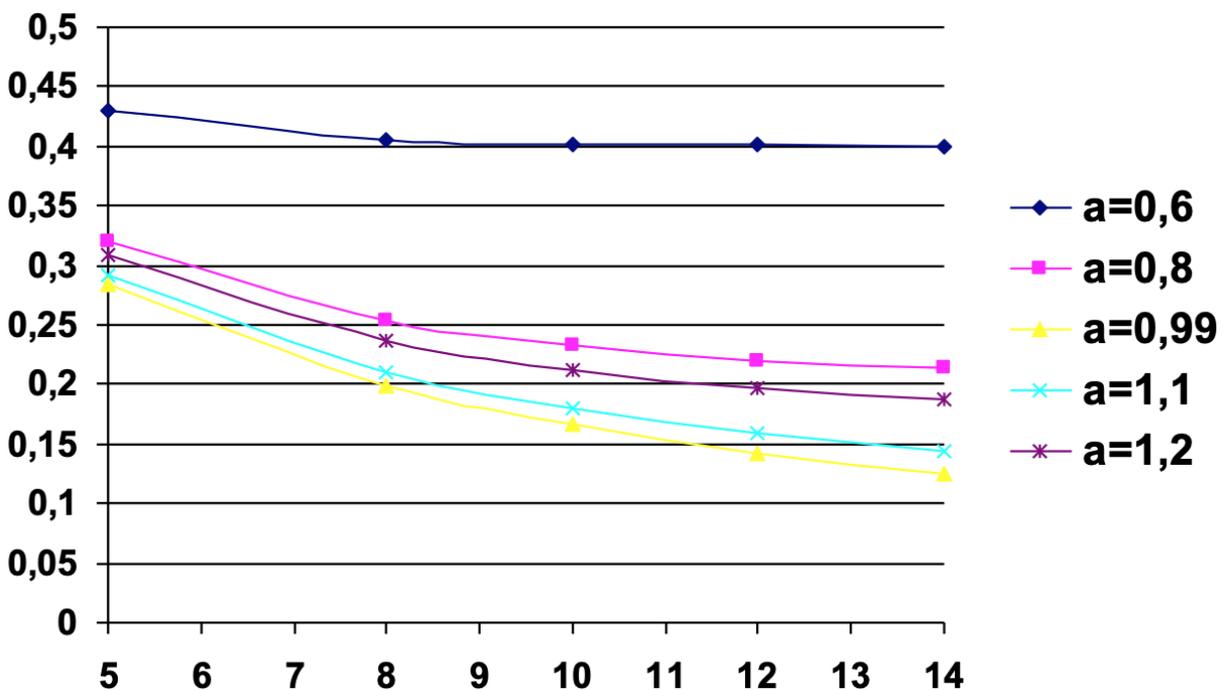


Рисунок 4.26 – Зависимость критерия оптимальности $P_{оп}$ в зависимости от количества машино-мест ожидания при различных сочетаниях соотношения потока обращений клиентов и интенсивности их удовлетворения α

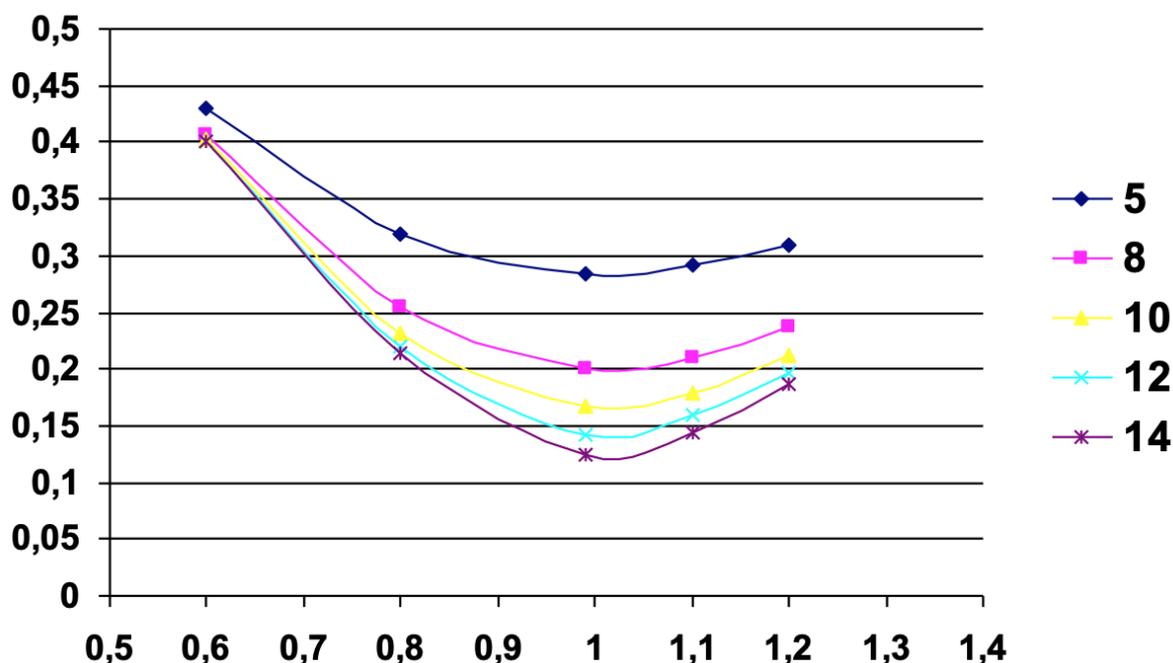


Рисунок 4.27 – Зависимость величины критерия оптимальности $P_{оп}$ от соотношения потока обращений клиентов и интенсивности их удовлетворения α при разном количестве машино-мест ожидания m

Основываясь на экономической целесообразности инвестиций в формирование производственно-технической базы предприятия, наиболее эффективным является значение средней длины очереди $r_0=4,468$ при числе машино-мест для размещения прибывающих на обслуживание и ремонт транспортных средств в очереди $m=10$, при таком сочетании значений, вероятность отказа в своевременном удовлетворении обращений клиентов $P_{отк}$ при этом составляет всего около 8%. При этом доля своевременно удовлетворенных обращений клиентов, определяемая относительной пропускной способностью специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей составляет $q_{от}=0,92$. Таким образом можно обеспечить своевременное удовлетворение 92% обращений клиентов, что свидетельствует о высоком уровне обслуживания. Дальнейшее сокращение величины $P_{отк}$ или увеличение пропускной способностью специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей $q_{от}$ за счет увеличения числа мест в очереди m экономически нецелесообразно так как увеличение m с 10 до 14, то есть на четыре машино-места позволяют уменьшить $P_{отк}$ и увеличить $q_{от}$ всего лишь примерно на 2 %.

При этом необходимость увеличения количества машино-мест в очереди с $m=10$ до $m=14$ может потребовать соответствующих капитальных затрат для ощутимого расширения зоны ожидания специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей. Например, для электромобиля среднего класса требуется 25 м^2 площади помещения или площадки за его пределами, следовательно для 4 автомобилей потребуется уже 100 м^2 .

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что эффективный подход к удовлетворению обращений клиентов в специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей достигается при $\alpha_{opt}=0,99$ и количестве мест в очереди $m=10$ в результате чего получаются следующие округленные показатели работы: вероятность простоя рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей из-за отсутствия обращений клиентов $P_0 \approx 0,09$; вероятность не своевременного удовлетворения обращений клиентов $P_{отк}=0,08$; относительная пропускная способность рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей $q_{от}=0,92$; среднее количество обращений клиентов с их транспортными средствами в очереди $r_0=4,5$; среднее количество обслуживаемых собственников транспортных средств $r_{об}=0,91$.

Одновременно минимальное допустимое время ожидания транспортными средствами в очереди $T_{ожд}$ устанавливаемое на основе (2.34) исходя из количества обращений клиентов с их транспортными средствами в очереди $r_0=4,5$ и среднего интервала времени $t_{п}$ между моментами обращения отдельных клиентов.

Учитывая известные значения $t_{п}$ и $\lambda=1/t_{п}$ из (2.18), а также $\alpha_{opt}=0,99$ из (2.31) становится возможным определить оптимальную интенсивность, необходимую для удовлетворения обращений клиентов специализированным сервисным предприятием технического обслуживания и ремонта электромобилей μ_{opt} .

С учетом значения μ_{opt} на основании (2.20) и (2.31) можно определить оптимальное потребное количество рабочих постов технического обслуживания и ремонта специализированного сервисного предприятия n_{opt} .

Продолжительность удовлетворения обращения одного клиента на одном рабочем посту специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей t_{OB} находится в прямой зависимости от оснащения технологическим оборудованием рабочего поста, от укомплектованности и компетентности рабочего персонала, конструктивных способностей транспортных средств приходящих на обслуживание и наличия соответствующей им технологической документации и актуальных баз данных с диагностическими и регулировочными параметрами.

Полученные результаты позволяют организовать эффективную работу специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей любой специализации и масштаба. При этом вероятность простоя рабочих постов специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей из-за отсутствия обращений клиентов не будет превышать 9 %, а вероятность ухода клиентов без удовлетворения обращений – 8 %, соответственно, при этом доля удовлетворенных обращений клиентов от обратившихся составит около 92 %.

Улучшение показателей работы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей может быть достигнуто путем определения соответствующего количества рабочих постов и площадей зон ожидания для увеличения интенсивности удовлетворения обращений клиентов.

Практическое применение полученных результатов исследования позволяет существенно повысить показатели не только рабочих постов, но и всего специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей в целом.

4.4. Экономический эффект функционирования специализированного сервисного предприятия при организации повторного использования аккумуляторных батарей выбывших из эксплуатации электромобилей

Расчеты в области обращения с выбывшими из использования высоковольтными аккумуляторными батареями в настоящее время очень сложно проводить ввиду недостаточности данных о затратах и потенциальной выручке, к тому же параметры процесса очень сильно варьируются в зависимости от региона в котором предстоит функционировать. Применительно к сервису, связанному с технической эксплуатацией электромобилей, условия можно считать непредсказуемыми, начиная от спроса на услуги и продукцию, кадрового обеспечения, заканчивая возможными инвестициями. В целом прогноз развития сферы технической эксплуатации электромобилей гибридных электромобилей считается позитивным, однако объемы продаж электромобилей совершенно не впечатляющи на фоне автомобилей с ДВС, хотя они и выросли в течение 2022 и 2023 года. При этом рост, наметившийся в 2024 году, к ноябрю сменился падением спроса из-за роста утилизационного сбора и правил его расчета. Поэтому в этом пункте мы представим предпроектные расчеты, основанные на методике экономической оценки сельскохозяйственной техники [295] по возможному функционированию предприятия в функции которого, помимо стандартных технологических процессов технического обслуживания и ремонта современных транспортных средств будут входить услуги по ремонту и утилизации высоковольтных тяговых аккумуляторных батарей, оставив обычные услуги технического сервиса за пределами расчетов в силу того, что подтверждение их рентабельности не требуется.

Построим наш расчет на предположении, что ежегодное поступление высоковольтных батарей в специализированное-сервисное предприятие на утилизацию или ремонт составит 100 штук, за основу возьмем наиболее распространенный электромобиль – Ниссан Лиф, ранее подробно рассмотренный в 3 главе. Батарею этого электромобиля во многих странах принято выкупать у собственника за

сумму, варьирующуюся в диапазоне 85000...100000 рублей. Таким образом начальные затраты на выкуп батарей у собственников составят 8500000 рублей.

Как уже было сказано выше, наиболее рационально по экономическим причинам, а также с точки зрения минимизации вреда для окружающей среды попытаться использовать аккумуляторные батареи повторно. В 100 ТАБ Ниссана Лиф находится 4800 неразборных модулей (48 в каждой батарее) каждый из модулей подвергается углубленной проверке и по данным сервисных предприятий-партнеров, только около 50 % модулей может быть использовано повторно при условии перекомплектования батареи модулями со схожим техническим состоянием (это обязательное условие для возможного успешного использования батареи). Это условие нам дает 2400 модулей из которых можно собрать 50 батарей, пригодных для использования в электромобиле, реализация батарей по цене от 285000 рублей дает 14250000 рублей выручки.

Модули условно годные в количестве 1440 штук (30 %) могут быть использованы по другому назначению и реализуются по 5000 рублей за штуку, давая выручку 7200000 рублей.

Еще 960 модулей (20 %) признаются негодными ни к какому дальнейшему применению. Это количество модулей соответствует 20 корпусам батарей, которые высвобождаются и могут быть переработаны во вторсырье (суммарно 5440 килограмм смеси металлов), но реальнее разбор этих корпусов на комплекты деталей: корпуса, токоведущие шины, блоки PRA, модули CMU, модули BMS, контакторы и другие элементы, суммарно каждый комплект может дать около 50000 рублей, то есть выручку 1000000 рублей в год.

Таким образом: начальные расходы 8500000 рублей / год,
выручка 22450000 рублей / год.

Также необходимо оценить текущие расходы на деятельность предприятия: заработная плата и затраты на электричество, а также прочие платежи.

Средняя заработная плата в сфере сервиса в регионах 2023 году составляла 58200 рубля в месяц, или 698400 рубля / год. Персонал предприятия составляет ориентировочно до 8 человек. Кадровый состав: техник-испытатель, слесарь-

электрик, слесарь-механик (3 чел), водитель вилочного погрузчика, инженер-электрик, специалист отдела продаж и логистики, операционный менеджер, главный исполнительный директор. Учитывая заработную плату как среднюю по стране примем величину 5600000 рублей/год на предприятие.

Средняя стоимость электроэнергии в 2023 году составляла в среднем от 3,6 до 6,8 рублей за киловатт-час, при расходовании до 2000 киловатт-час в месяц затраты на электроэнергию составят около в пределах 100000 рублей в год. Также примем около 1000000 рублей в год на остальные расходы (страховки, налоги, штрафы и прочее). Таким образом, общая величина текущих расходов составит 13600000 рублей/год.

Капитальные вложения будут формироваться из помещения и оборудования. Требования к помещению сводятся к наличию промышленной площадки с типовыми коммуникациями (электричество, водоснабжение нецентрализованное и канализация нецентрализованная). Оборудование возможно не только иностранного производства, но и российское. Примерный его набор: стеллажи для хранения (500000 рублей), вилочный погрузчик (700000 рублей), рабочие станции (700000 рублей), канал тестирования батареи и аппаратное обеспечение локальной сети контроллера (768000 рублей), компьютер (300000 рублей), офисное и другое технологическое оборудование (8000000 рублей). Оборудование возможно как новое, так и подержанное, что более вероятно. Здание – до 2000000 рублей. Таким образом, капиталовложения составят 12968000 рублей.

Величина маржи между расходами предприятия составляет $22450000 - 13600000 = 8850000$ рублей. Если разделить величину капиталовложений на величину маржи, укрупненно получим срок окупаемости предприятия при принятых условиях – 1,46 года.

4.5. Выводы по главе 4

1. Энергосберегающая производительная работа электрифицированной транспортно-технологической машины при выполнении почвообрабатывающих работ с удельным тяговым сопротивлением $K_A = 5$ кН/м и диапазоне длины гона L

от 50 до 500 м обеспечивается при следующих диапазонах мощности N_H 25...38 кВт для 50 м до $N_H=48...78$ кВт для 500 м. При выполнении почвообрабатывающих работ с удельным тяговым сопротивлением $K_A=13$ кН/м обеспечивается при следующих диапазонах мощности $N_H=45...70$ кВт для 50 м до $N_H=80...145$ кВт для 500 м.

2. Энергосберегающая производительная работа электрифицированной транспортно-технологической машины при выполнении почвообрабатывающих работ на мелкоконтурных полях с длиной гона до 150 м обеспечивается при следующих диапазонах мощности $N_H=25...38$ кВт при удельном тяговом сопротивлении $K_A=5$ кН/м и $N_H=60...97$ кВт при удельном тяговом сопротивлении $K_A=23$ кН/м. На полях с длиной гона от 400 до 600 метров энергосберегающая работа обеспечивается при следующих диапазонах мощности $N_H=48...80$ кВт при удельном тяговом сопротивлении $K_A=5$ кН/м и $N_H=110...210$ кВт при удельном тяговом сопротивлении $K_A=23$ кН/м.

3. Энергосберегающая производительная работа электрифицированной транспортно-технологической машины при выполнении основных видов предпосевной обработки почвы и посева для длин гона в диапазоне от 50 до 500 м обеспечивается при мощности двигателя электрифицированной транспортно-технологической машины в диапазоне: $N_H=17...26 - 31...52$ кВт для боронования зубowymi боронами; $N_H=18...29 - 35...62$ кВт для прикатывания; $N_H=41...64 - 59...93$ кВт для посева зерновых культур.

4. Определены оптимальные модели электродвигателей для комплектования силовых агрегатов электрифицированных транспортно-технологических машин из гаммы российских производителей мощностью 35, 55, 60, 80 и 85 кВт для мелкоконтурных полей с длинами гона до 150 м и 55, 60, 80, 85 и 125 кВт для полей средних размеров с длинами гона 400...600 метров.

5. Определен набор компонентов, образующиеся при работах по ремонту или утилизации электромобилей и гибридных автомобилей. Предложены алгоритмы действия персонала специализированного сервисного предприятия обеспе-

чивающие повторное использование тяговых аккумуляторных батарей и силовых агрегатов электромобилей.

6. Использование бывших в употреблении и восстановленных электродвигателей и тяговых аккумуляторных батарей, отвечающих оптимальным мощностным параметрам силовых агрегатов электрифицированных транспортно-технологических машин возможно при номинальном напряжении до 360 В и мощности электродвигателя до 110 кВт, позволяя минимизировать прямые затраты на модернизацию транспортно-технологической машины установкой электропривода.

7. Разработаны функциональные схемы специализированного сервисного предприятия, обеспечивающие четыре траектории работы с клиентом: техническое обслуживание электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин; текущий ремонт электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин с агрегатной заменой; текущий ремонт электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин с восстановлением агрегатов и узлов; модернизацию транспортно-технологических машин с установкой электропривода и ТАБ, модернизация ТАБ электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин.

8. На основании моделирования и экспериментальной проверки продолжительности технологических процессов установлено, что диапазон значений отношения интенсивности поступления обращений клиентов к интенсивности их удовлетворения специализированным сервисным предприятием не выходит за пределы от 0,6 до 1,2.

9. Эффективный режим удовлетворения обращений клиентов в специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей обеспечивается при отношении интенсивности поступления обращений клиентов к интенсивности их удовлетворения специализированным сервисным предприятием на уровне $\alpha_{opt}=0,99$ и количестве мест в очереди $m=10$ что обеспечивает минимальный уровень простоя производственных постов специали-

зированной сервисного предприятия $P_0 \approx 0,09$ и минимальную вероятность не своевременного удовлетворения обращений клиентов $P_{отк} = 0,08$.

10. При обеспечении оптимальных параметров производственно-технической базы специализированного сервисного предприятия технического обслуживания и ремонта электромобилей относительная пропускная способность рабочих постов составит $q_{от} = 0,92$; среднее число обращений клиентов с их транспортными средствами в очереди $r_0 = 4,5$; среднее число обслуживаемых клиентов $r_{об} = 0,91$.

11. Определен потенциальный экономический эффект от деятельности специализированного сервисного предприятия в сферу работы которого будет входить модернизация транспортно-технологических машин установкой электропривода с использованием вторичных агрегатов и узлов, который может составить 8850000 рублей в год, с продолжительностью окупаемости инвестиций в производственно-техническую 1,46 года на принятых условиях расчета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование проблем технологического обеспечения модернизации транспортно-технологических машин установкой электропривода позволило сделать следующее заключение:

1. По результатам анализа рынка подержанных электромобилей были выявлены модели и определены характеристики электромобилей-агрегатоносителей, отвечающих потребностям во вторичных агрегатах и узлах со стороны специализированных сервисных предприятий, реализующих технологические процессы модернизации транспортно-технологических машин установкой электропривода, разработаны алгоритмы, определяющие порядок организации технологического обеспечения работы с модернизируемыми транспортно-технологическими машинами.

2. Энергосберегающая производительная работа электрифицированной транспортно-технологической машины при выполнении почвообрабатывающих работ с удельным тяговым сопротивлением $K_A=5$ кН/м и диапазоне длины гона L от 50 до 500 м обеспечивается в диапазоне мощности силовой установки от N_H 25...38 кВт для 50 м до $N_H=48...78$ кВт для 500 м, при $K_A=13$ кН/м – от $N_H=45...70$ кВт для 50 м до $N_H=80...145$ кВт для 500 м; при выполнении основных видов предпосевной обработки почвы и посева для длин гона в диапазоне от 50 до 500 м обеспечивается при мощности двигателя электрифицированной транспортно-технологической машины в диапазоне: $N_H=17...26 - 31...52$ кВт для боронования зубowymi боронами; $N_H=18...29 - 35...62$ кВт для прикатывания; $N_H=41...64 - 59...93$ кВт для посева зерновых культур. Определены оптимальные модели электродвигателей для комплектования силовых агрегатов электрифицированных транспортно-технологических машин из гаммы российских производителей мощностью 35, 55, 60, 80 и 85 кВт для мелкоконтурных полей с длинами гона до 150 м и 55, 60, 80, 85 и 125 кВт для полей средних размеров с длинами гона 400...600 метров.

3. На основании моделирования и экспериментальной проверки продолжительности технологических процессов установлено, что диапазон значений отношения интенсивности поступления обращений клиентов к интенсивности их удовлетворения специализированным сервисным предприятием не выходит за пределы от 0,6 до 1,2. Эффективный режим удовлетворения обращений клиентов в специализированное сервисное предприятие технического обслуживания и ремонта электромобилей обеспечивается при количестве мест в очереди $m=10$ что обеспечивает минимальный уровень простоя производственных постов специализированного сервисного предприятия $P_0 \approx 0,09$ и минимальную вероятность не своевременного удовлетворения обращений клиентов $P_{отк}=0,08$, относительная пропускная способность рабочих постов составит $q_{от}=0,92$; среднее число обращений клиентов с их транспортными средствами в очереди $r_0=4,5$; среднее число обслуживаемых клиентов $r_{об}=0,91$.

4. Экспериментально определены базовые значения продолжительности выполнения технологических операций с полнокомплектным электромобилем агрегатоносителем – 2 часа, а также с тяговой аккумуляторной батареей в рамках ускоренной – 1,5 часа и углубленной проверки высоковольтной батареи – 9 часов, продолжительности технологических процессов разборки тяговой аккумуляторной батареи – 0,48 часа в первой фазе и 3,25 часа во второй фазе, а также разработана семиэтапная схема технологического процесса

5. Разработан и запатентован стенд-тренажер, предназначенный для отработки навыков безопасной и эффективной работы, позволяющий сократить продолжительность подготовки персонала в обязанности которого будет входить выполнение разборочно-сборочных работ по высоковольтной тяговой аккумуляторной батарее на 20 процентов.

6. Разработаны функциональные схемы специализированного сервисного предприятия, обеспечивающие четыре траектории работы с клиентом: техническое обслуживание электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин; текущий ремонт электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин с агрегатной

заменой; текущий ремонт электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин с восстановлением агрегатов и узлов; модернизацию транспортно-технологических машин с установкой электропривода и ТАБ, модернизация ТАБ электромобилей и электрифицированных транспортно-технологических машин.

7. Определен форм-фактор аккумуляторных ячеек, применяемых в тяговых аккумуляторных батареях и варианты их вторичного использования в альтернативных изделиях. Определен набор компонентов, образующиеся при работах по ремонту или утилизации электромобилей и гибридных автомобилей. Предложены алгоритмы действия персонала специализированного сервисного предприятия обеспечивающие повторное использование тяговых аккумуляторных батарей и силовых агрегатов электромобилей. Использование бывших в употреблении и восстановленных электродвигателей и тяговых аккумуляторных батарей, отвечающих оптимальным мощностным параметрам силовых агрегатов электрифицированных транспортно-технологических машин возможно при номинальном напряжении до 360 В и мощности электродвигателя до 110 кВт, позволяя минимизировать прямые затраты на модернизацию транспортно-технологической машины установкой электропривода

8. Определен потенциальный экономический эффект от деятельности специализированного сервисного предприятия в сферу работы которого будет входить модернизация транспортно-технологических машин установкой электропривода с использованием вторичных агрегатов и узлов, который может составить 8850000 рублей в год, с продолжительностью окупаемости инвестиций в производственно-техническую базу 1,46 года на принятых условиях расчета.

Список литературы

1. Размер эмиссии парниковых газов по секторам и странам [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://theworldonly.org/razmer-emissii-parnikovyh-gazov-po-sektoram-i-stranam/> – дата обращения 06.01.2023
2. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> – дата обращения 25.01.2023
3. Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Декарбонизация мобильных энергетических средств, используемых в сельскохозяйственном производстве // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 1. С. 4-10. <https://doi.org/10.2687-1149-2024-1-4-10>
4. Дидманидзе О.Н., Асадов Д.Г., Митягин Г.Е., Карев А.М, Техническая эксплуатация мобильных электроагрегатов. Монография – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2015. – 226 с.
5. Экология и право. Транспорт в городе. 2021. № 82 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ecopravo.org/wp-content/uploads/2021/ekologiya-i-pravo_82.pdf – дата обращения 11 января 2024 года
6. Охрана окружающей среды в России. Статистический сборник. – М.: Росстат, 2022. – 115 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ochrana_okruji_sredi_2022.pdf – дата обращения 11 января 2024 года
7. Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 августа 2021 года, № 2290-р [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJIt.pdf> – дата обращения 11 января 2024 года

8. Митягин, Г. Е., Бисенов М.К. Разработка технологического процесса разборки высоковольтной тяговой батареи электромобилей [Текст] / Г. Е. Митягин, М.К. Бисенов // Международный технический журнал. – 2024. – № 1. – С. 24-35
9. Российский рынок новых электромобилей в 2023 году вырос почти в 5 раз [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56565/> – дата обращения 11 января 2024 года
10. Митягин, Г. Е., Андреев О.П., Рупасингхе А.А.В. Проблемы и перспективы производства и эксплуатации электротранспортных средств в России [Текст] / Г. Е. Митягин, О.П. Андреев, А.А.В. Рупасингхе // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 33-44
11. Рынок электромобилей с пробегом в 2023 году установил рекорд, превысив 10 тысяч единиц [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56703/> – дата обращения 26 января 2024 года
12. АВТОВАЗ рассказал о сроках запуска производства LADA Largus и e-Largus [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56891/> – дата обращения 16 февраля 2024 года
13. «Автотор» представил электромобиль «Амберавто А5» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56912/> – дата обращения 19 февраля 2024 года
14. Представлен электрокар «Атом» с обновленным дизайном [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56792/> – дата обращения 06 февраля 2024 года
15. «Алмаз-Антей» продолжает проект электромобиля E-Neva [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/57009/> – дата обращения 01 марта 2024 года
16. Мировой рынок электромобилей в 2023 году вырос на треть [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56581/> – дата обращения 15 января 2024 года

17. В 2023 году на российском рынке появилось 16 новых электромобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/articles/56603/> – дата обращения 18 января 2024 года
18. Макухин С. Точные цифры: сколько в России зарегистрировано электромобилей на начало 2024 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://greenstartpoint.ru/tochnye-czifry-skolko-v-rossii-zaregistrovano-elektromobilej-na-nachalo-2024-goda/> – дата обращения 23 февраля 2024 года
19. В России зарегистрировано более 39 тысяч электромобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/56993/> – дата обращения 28 февраля 2024 года
20. Скиданов, В. М. Синтез параметров управления полупроводниковыми преобразователями на основе анализа энергетических показателей систем привода постоянного тока электромобилей : специальность 05.09.12 "Силовая электроника" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Скиданов Владимир Михайлович. – Киев, 1983. – 194 с.
21. Тарасян, А. П. Оптимизация электропривода электромобиля с широтно-импульсным управлением : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасян Александр Павлович. – Ереван, 1984. – 247 с.
22. Петренко, Ю. В. Торцевой асинхронный двигатель для мотор-колеса легкового электромобиля : специальность 05.09.01 "Электромеханика и электрические аппараты" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Петренко Юрий Васильевич. – Новосибирск, 1984. – 237 с.
23. Погосян, А. А. Оптимизация энергетических показателей системы аккумуляторная батарея - тристорный преобразователь - двигатель с микропроцессорным управлением : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Погосян Арутюн Александрович. – Москва, 1991. – 20 с.

24. Аль-Масуд, Т. Индивидуальное транспортное средство с электроприводом и емкостным накопителем энергии : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аль-Масуд Тауфик. – Москва, 1995. – 22 с.
25. Павлов, В. Б. Полупроводниковые преобразователи в системах энергоснабжения постоянного тока электромобилей : специальность 05.09.12 "Силовая электроника" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Павлов Виктор Борисович. – Киев, 1996. – 40 с.
26. Макаров, А. К. Электромобиль с комбинированной энергетической установкой, включающей солнечную батарею : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Макаров Александр Константинович. – Москва, 1998. – 21 с.
27. Шугуров, С. Ю. Электромобиль с комбинированной энергоустановкой и накопителями энергии : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шугуров Сергей Юрьевич. – Москва, 1999. – 225 с.
28. Ал, М. М. Оптимизация работы электропривода транспортных средств при питании от свинцово-кислотных аккумуляторных батарей : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ал Мохаммад Маисса. – Москва, 1999. – 14 с.
29. Нгуен Куанг Тхиеу. Городской солнцемобиль : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нгуен Куанг Тхиеу. – Москва, 2000. – 19 с.
30. Иванов, С. А. Исследование использования суперконденсаторов в комбинированных энергоустановках транспортных средств : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иванов Сергей Александрович. – Москва, 2003. – 142 с.

31. Смирнов, Г. Н. Обоснование использования суперконденсаторов в системах питания автомобиля напряжением 42 вольта : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Смирнов Георгий Николаевич. – Москва, 2005. – 19 с.

32. Пионтковская, С. А. Повышение энергоэффективности тяговой системы внутризаводского электротранспорта с комбинированной энергоустановкой : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пионтковская Светлана Артуровна. – Самара, 2005. – 20 с.

33. Лежнев, Л. Ю. Улучшение топливно-экономических и экологических показателей двигателей внутреннего сгорания в составе комбинированных энергетических установок автотранспортных средств : специальность 05.04.02 "Тепловые двигатели" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лежнев Лев Юрьевич. – Москва, 2005. – 23 с.

34. Хечинашвили, А. Система контроля и управления источником энергии тягового привода электромотоцикла : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хечинашвили Александр. – Москва, 2006. – 20 с.

35. Ивакина, Е. Г. Оптимизация системы управления тягово-транспортного средства с комбинированной энергоустановкой : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ивакина Екатерина Горхмазовна. – Москва, 2006. – 17 с.

36. Ноздрин, А. В. Улучшение некоторых технико-эксплуатационных свойств автомобиля с помощью комбинированной энергоустановки : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ноздрин Алексей Васильевич. – Москва, 2006. – 162 с.

37. Строганов, В. И. Комбинированная энергоустановка городского автобуса с буферным источником мощности : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Строганов Владимир Иванович. – Москва, 2006. – 19 с.

38. Лазарева, А. Н. Разработка методики расчета базовых параметров и характеристик гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы для легкового автомобиля : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лазарева Анна Николаевна. – Ижевск, 2006. – 28 с.

39. Ившин, К. С. Выбор параметров и дизайнерское проектирование легковых автомобилей особо малого класса (квадрициклов) с комбинированной энергосиловой установкой : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ившин Константин Сергеевич. – Ижевск, 2006. – 18 с.

40. Лобанов, М. В. Исследование влияния управляемого электромеханического звена автомобиля с комбинированной энергоустановкой на технико-экономические показатели : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лобанов Максим Викторович. – Москва, 2007. – 16 с.

41. Ноздрин, Р. В. Исследование автомобиля с универсальной гибридной силовой установкой параллельного типа : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ноздрин Руслан Васильевич. – Москва, 2007. – 17 с.

42. Хамидуллин, Р. П. Совершенствование конструкции гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы за счет устранения жесткой

кинематической связи между тепловым и электрическим двигателями : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хамидуллин Радик Планетович. – Ижевск, 2007. – 24 с.

43. Аносов, В. Н. Методы и средства повышения эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Аносов Владимир Николаевич. – Новосибирск, 2008. – 35 с.

44. Захаренко, А. Б. Создание высокомоментных электрических машин с постоянными магнитами : специальность 05.09.01 "Электромеханика и электрические аппараты" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Захаренко Андрей Борисович. – Москва, 2008. – 42 с.

45. Полевой, И. Г. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на работу рекуперативной системы торможения тягово-транспортного средства : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Полевой Игорь Григорьевич. – Москва, 2008. – 16 с.

46. Тадивосе Тассеу Зевде. Тяговый электропривод пассажирского транспортного средства для кампусов университета г. Бахр-Дар, Эфиопии : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тадивосе Тассеу Зевде. – Москва, 2008. – 179 с.

47. Карпухин, К. Е. Принципы и алгоритм управления автомобилем с гибридной силовой установкой : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Карпухин Кирилл Евгеньевич. – Москва, 2008. – 24 с.

48. Серафимов, А. М. Исследование влияния альтернативных источников энергии автомобиля на технико-экономические показатели : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" :

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Серафимов Андрей Михайлович. – Москва, 2008. – 155 с.

49. Голубчик, Т. В. Выбор параметров комбинированной энергетической установки автомобиля с применением математического моделирования : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Голубчик Тимофей Владимирович. – Москва, 2009. – 21 с.

50. Минкин, И. М. Повышение экономичности и экологических характеристик внутригородского автотранспорта за счет применения комбинированных энергетических установок на базе ДВС : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Минкин Илья Михайлович. – Москва, 2009. – 25 с.

51. Дзоценидзе, Т. Д. Обоснование параметров малогабаритных транспортных средств сельскохозяйственного назначения с широкими функциональными возможностями : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дзоценидзе Генгизи Джемалиевич. – Москва, 2009. – 33 с.

52. Иоанесян, А. В. Моделирование нестационарных режимов работы аккумуляторной батареи электромобиля : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иоанесян Алексей Вильямович. – Москва, 2009. – 21 с.

53. Шугуров, С. С. Синергетическая установка городского микроавтобуса с буферным источником мощности : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шугуров Сергей Сергеевич. – Москва, 2009. – 21 с.

54. Знаменский, О. И. Обоснование накопителя энергии тягово-транспортного средства с комбинированной энергоустановкой : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" :

автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Знаменский Олег Игоревич. – Москва, 2010. – 17 с.

55. Сидоров, К. М. Энергетическая и топливная эффективность автомобилей с гибридной силовой установкой : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сидоров Кирилл Михайлович. – Москва, 2010. – 24 с.

56. Отарский, А. А. Улучшение топливно-экономических и токсических характеристик автомобилей за счет рекуперации энергии : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Отарский Алексей Андреевич. – Москва, 2010. – 17 с.

57. Спиридонов, Е. А. Повышение эффективности использования энергии в электротранспортных комплексах с накопительными устройствами : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Спиридонов Егор Александрович. – Новосибирск, 2010. – 18 с.

58. Григорьев, И. Г. Повышение работоспособности аккумуляторной батареи тягово-транспортных средств с комбинированной энергоустановкой : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Григорьев Иван Григорьевич. – Москва, 2010. – 136 с.

59. Фетисов, А. В. Исследование процесса рекуперативного торможения гибридных тягово-транспортных средств : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фетисов Александр Васильевич. – Москва, 2011. – 131 с.

60. Тюхтин, К. И. Разработка электротехнологии и преобразователя электроэнергии для регенеративного заряда аккумуляторов мобильной сельскохозяйственной техники : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и

электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюхтин Константин Иванович. – Москва, 2011. – 22 с.

61. Строганов, А. В. Повышение эксплуатационных свойств гибридных тягово-транспортных средств с суперконденсаторами и аккумуляторными батареями : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Строганов Алексей Владимирович. – Москва, 2011. – 18 с.

62. Нгуен, Х. Т. Выбор путей снижения динамических нагрузок в механической трансмиссии автомобиля с гибридными силовыми установками : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нгуен Хак Туан. – Москва, 2011. – 22 с.

63. Копотев, Д. А. Разработка системы управления комбинированной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы теплового и электрического двигателей легкового автомобиля : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Копотев Дмитрий Алексеевич. – Ижевск, 2011. – 23 с.

64. Демидов, А. В. Оптимизация режимов работы тягово-транспортных средств компенсатором динамической мощности : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Демидов Алексей Викторович. – Москва, 2011. – 15 с.

65. Ютт, М. В. Повышение показателей топливной экономичности и экологической безопасности городского микроавтобуса с комбинированной энергоустановкой и буферным источником мощности : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на

соискание ученой степени кандидата технических наук / Ютт Михаил Владимирович. – Москва, 2012. – 21 с.

66. Нгуен, К. Т. Развитие теории и методы повышения энергоэффективности однодвигательных тяговых электроприводов автотранспортных средств : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Нгуен Куанг Тхиеу. – Москва, 2012. – 40 с.

67. Пономарев, В. М. Анализ и выбор эффективного распределителя мощности в трансмиссии легкового автомобиля и квадрицикла : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пономарев Василий Михайлович. – Ижевск, 2012. – 24 с.

68. Полозов, А. В. Выбор рациональных компоновочных схем малогабаритных транспортных средств на этапе дизайн-проектирования : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины": специальность 17.00.06 "Техническая эстетика и дизайн" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Полозов Антон Владимирович. – Ижевск, 2013. – 27 с.

69. Иванов, С. А. Повышение эффективности тягово-транспортных средств при использовании накопителей энергии : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Иванов Сергей Александрович. – Москва, 2013. – 32 с.

70. Азаров, В. К. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Азаров Вадим Константинович. – Москва, 2014. – 19 с.

71. Шуркалов, П. С. Исследование эффективности использования энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии для зарядки электротранспорта : специальность 05.14.08 "Энергоустановки на основе

возобновляемых видов энергии" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шуркалов Петр Сергеевич. – Москва, 2014. – 19 с.

72. Лазарев, Д. Б. Энергоэффективная система индивидуального электропривода ведущих колес транспортного средства : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лазарев Дмитрий Борисович. – Москва, 2014. – 26 с.

73. Деев, О. И. Методы расширения функциональных возможностей автомобиля при помощи КЭУ под контролем логики управления прогностического типа : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Деев Олег Игоревич. – Москва, 2015. – 22 с.

74. Строганов, В. И. Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Строганов Владимир Иванович, 2015. – 356 с.

75. Куликов, И. А. Совершенствование средств создания и исследования автомобилей с комбинированными энергоустановками с помощью технологий виртуально-физических испытаний : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Куликов Илья Александрович. – Москва, 2016. – 205 с.

76. Мишин, Н. В. Разработка и исследование автономного электропривода с низкой чувствительностью к параметрическим изменениям : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мишин Николай Владимирович. – Самара, 2016. – 22 с.

77. Новикова, А. П. Совершенствование системы мониторинга работоспособности электротехнического комплекса автономного транспортного объекта :

специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Новикова Анна Петровна. – Самара, 2016. – 22 с.

78. Козлова, Т. А. Разработка методики расчета и выбор рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Козлова Татьяна Александровна. – Нижний Новгород, 2017. – 150 с.

79. Оспанбеков, Б. К. Повышение энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Оспанбеков Бауржан Кенесович, 2017. – 160 с.

80. Гулямов, К. Х. Энергетическая установка электромобиля с системой многоканального преобразования постоянного напряжения : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гулямов Камол Хикматович, 2018. – 156 с.

81. Омара, А. М. Э. Разработка и реализация алгоритмов управления тяговым электроприводом, обеспечивающих экономичность автономных электрических транспортных средств : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Омара Ахмед Мохамед Эльрефаие, 2019. – 156 с.

82. Лутонин, А. С. Структура и алгоритмы энергоэффективного управления электротехническим комплексом транспортного средства с использованием мотор-колес с синхронными двигателями : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лутонин Александр Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2020. – 20 с.

83. Маликов, Р.Р. Разработка методики исследования влияния характеристик тяговой аккумуляторной батареи на эксплуатационные свойства электрифицированного транспортного средства : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Маликов Рамиль Раильевич. – Москва, 2023. – 217 с.
84. Биксалеев, Р. Ш. Принципы и алгоритм управления системой термостатирования накопителей электрической энергии для электрифицированных автотранспортных средств : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Биксалеев Ринат Шакирович. – Москва, 2021. – 24 с.
85. Умницын, А. А. Повышение тормозной динамики электромобилей и гибридных автомобилей, включающих в состав антиблокировочной системы фрикционные тормозные механизмы и электромашины : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Умницын Артём Алексеевич. – Москва, 2022. – 200 с.
86. Аджиманбетов, С. Б. Разработка электромеханических приводов автотранспортных средств : специальность 2.5.11 "Наземные транспортно-технологические средства и комплексы" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Аджиманбетов Султанхан Багатович, 2022. – 250 с.
87. Грищенко, А. Г. Тяговый инвертор с интегрированным зарядным устройством для электромобильного транспорта : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Грищенко Александр Геннадьевич, 2022. – 190 с.
88. Дедов, С. И. Повышение энергоэффективности силовой гибридной установки автономного транспортного средства : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дедов Сергей Игоревич, 2022. – 121 с.

89. Попов, Н. С. Повышение энергетической эффективности системы тягового электропривода безрельсового транспортного средства : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Попов Никита Сергеевич, 2022. – 150 с. – EDN WFXJQK.
90. Заватский, А. М. Методы активного распределения момента между осями полноприводного электромобиля специальность 2.5.11 "Наземные транспортно-технологические средства и комплексы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Заватский Александр Михайлович, 2023. – 136 с.
91. Нгуен, Х. М. Разработка методики расчета системы термостатирования накопителей электрической энергии гибридных и электрических транспортных средств для Социалистической Республики Вьетнам: специальность 2.5.11 "Наземные транспортно-технологические средства и комплексы": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нгуен Хак Минь, 2023. – 171 с.
92. Чуйдук, И. А. Синтез и анализ вентильных электродвигателей комбинированного возбуждения для электротрансмиссий наземных транспортных средств: специальность 2.4.2 "Электрические комплексы и системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чуйдук Иван Александрович, 2023. – 145 с.
93. Чупеева, Е. Э. Повышение надежности тягово-транспортных средств с комбинированной энергоустановкой : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чупеева Екатерина Эдуардовна. – Москва, 2006. – 133 с.
94. Легеза, Г. В. Совершенствование технического сервиса мобильных электроагрегатов с автономным электроснабжением : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" :

автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Легеза Георгий Викторович. – Москва, 2009. – 19 с.

95. Раков, В. А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Раков Вячеслав Александрович. – Санкт-Петербург, 2012. – 22 с.

96. Асадов, Д.Г. Обоснование эффективности технического сервиса мобильных электроагрегатов транспортного назначения при эксплуатации : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Асадов Джабир Гусейн оглы. – Москва, 2012. – 35 с.

97. Бобровицкий, Н. М. Повышение эксплуатационной технологичности мобильного электроагрегата : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бобровицкий Никита Михайлович. – Москва, 2013. – 17 с.

98. The 12 Most Innovative EVs of 2023 - Inverse [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.inverse.com/tech/best-evs-of-2023> – дата обращения 01 ноября 2024 года

99. Used Car Electrification: A Sustainable Option for the Future [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tomorrowsjourney.co.uk/industry-insights/used-cars-electrification-a-sustainable-option-for-the-future> – дата обращения 01 ноября 2024 года

100. Revolutionize Your Ride: The Ultimate Guide on How to Convert Your Car to electric guide [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://electriccarwiki.com/how-to-convert-car-to-electric-guide/> – дата обращения 01 ноября 2024 года

101. Types of Electric Motors for EVs: AC vs DC – Ennovi [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ennovi.com/types-of-electric-motors-for-evs/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
102. A guide to converting your old car to electric [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://e-smartway.com/blogs/electric-car/a-guide-to-converting-your-old-car-to-electric> – дата обращения 01 ноября 2024 года
103. On the Move: Unpacking the Challenges and Opportunities of Electric Vehicles [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.eesi.org/articles/view/on-the-move-unpacking-the-challenges-and-opportunities-of-electric-vehicles> – дата обращения 01 ноября 2024 года
104. The Key Electric Vehicle Components – EV Parts & Its Functions [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://myigetit.com/tech/electric-vehicle-components/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
105. Converting Your Gas Car To A Hybrid Or Electric: A Comprehensive Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://shunauto.com/article/how-to-convert-gas-car-to-hybrid-or-electric> – дата обращения 01 ноября 2024 года
106. EV Conversion Simplified: Step-by-Step Guidance - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fuel2electric.com/ev-conversion-simplified-step-by-step-guidance> – дата обращения 01 ноября 2024 года
107. Electric Car Components and Functions [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.electriccarconverts.com/insights/electric-car-components-and-functions-electric-car-converts/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
108. Study: EV Efficiency Improvements Can Reduce Future Electric - NRDC [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nrdc.org/press-releases/study-ev-efficiency-improvements-can-reduce-future-electric-infrastructure-and> – дата обращения 01 ноября 2024 года
109. EV Efficiency: Why It Matters For Getting The Most Electric Range [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://insideevs.com/features/705034/engineering-explained-ev-efficiency/> – дата обращения 01 ноября 2024 года

110. EV Conversions: Performance, Torque, Speed & Efficiency [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fuel2electric.com/EV-Conversions-Performance-Torque-Speed-and-Efficiency> – дата обращения 01 ноября 2024 года
111. Electric Car Energy Efficiencies [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://large.stanford.edu/courses/2021/ph240/hull2/> – Режим доступа: – дата обращения 01 ноября 2024 года
112. Electrifying transportation reduces emissions AND saves massive amounts of energy [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yaleclimateconnections.org/2022/08/electrifying-transportation-reduces-emissions-and-saves-massive-amounts-of-energy/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
113. Federal Funding Programs | US Department of Transportation [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-infrastructure-funding-and-financing/federal-funding-programs> – дата обращения 01 ноября 2024 года
114. What the US is getting right — and wrong — about the move to electric vehicles [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://hls.harvard.edu/today/what-the-us-is-getting-right-and-wrong-about-the-move-to-electric-vehicles/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
115. Converting Gasoline Car to Electric: A Guide - Genius Gurus [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://geniusgurus.com/converting-gasoline-car-to-electric/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
116. Trends in electric cars – Global EV Outlook 2024 – IEA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars> – дата обращения 01 ноября 2024 года
117. Improving EV batteries with real-world driving data [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://news.stanford.edu/stories/2023/08/improving-ev-batteries-real-world-driving-data> – дата обращения 01 ноября 2024 года
118. 10 Companies That Will Convert Your ICE-powered Car Into An EV - Top Speed [Электронный ресурс] – Режим доступа: – дата обращения 01 ноября 2024 года

119. Top 10 technologies driving the shift to electric vehicles - EV Magazine [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.topspeed.com/ice-cars-to-ev-conversion-companies/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
120. Battery Technology in Electric Vehicles: Current and Future Trends [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.evmechanica.com/battery-technology-in-electric-vehicles-current-and-future-trends/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
121. Designing better batteries for electric vehicles - MIT News [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://news.mit.edu/2021/designing-better-batteries-electric-vehicles-0816> – дата обращения 01 ноября 2024 года
122. EV Powertrain Components – Basics – EVreporter [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://evreporter.com/ev-powertrain-components/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
123. What Goes Into Converting a Car to Electric? - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.doityourself.com/stry/what-goes-into-converting-a-car-to-electric> – дата обращения 01 ноября 2024 года
124. Electric Vehicle Costs & Incentives - SanDiegoCounty.gov [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sandiegocounty.gov/content/sdc/sustainability/ev-consumerguide/costs.html> – дата обращения 01 ноября 2024 года
125. ZEV Funding Resources - California Governor’s Office of Business and ... [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://business.ca.gov/industries/zero-emission-vehicles/zev-funding-resources/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
126. Policies to promote electric vehicle deployment – Global EV Outlook ... [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/policies-to-promote-electric-vehicle-deployment> – дата обращения 01 ноября 2024 года
127. 2024 State-by-State Electric Vehicle Incentives Guide – MoveEV [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.moveev.com/blog/2024-electric-vehicle-incentives-a-state-by-state-guide> – дата обращения 01 ноября 2024 года

128. Electric Car Rebates and Incentives: What to Know by State [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kbb.com/car-advice/electric-vehicle-rebates-by-state/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
129. What’s next for batteries in 2023 | MIT Technology Review [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.technologyreview.com/2023/01/04/1066141/whats-next-for-batteries/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
130. The twelve most promising EV battery innovations - EV inFocus [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.evinfocus.com/the-twelve-most-promising-ev-battery-innovations/> – дата обращения 01 ноября 2024 года
131. Бисенов М.К. Перспективы и проблемы электрификации транспортно-технологических машин для сельского хозяйства / М.К. Бисенов. Сборник статей «Чтения академика В.Н. Болтинского» научно-практической конференции, посвященной 90-летию Н.М. Шарова. – М.: ООО «Сам полиграфист», 2024. С. 67-78
- 132.: What's Next for Electric Machinery? - Successful Farming [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agriculture.com/electrifying-the-future-8403628> – дата обращения 20 октября 2024 года
133. Мосера, F.; Somà, A.; Martelli, S.; Martini, V. Trends and Future Perspective of Electrification in Agricultural Tractor-Implement Applications. *Energies* 2023, *16*, 6601 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6601> – дата обращения 20 октября 2024 года
134. Ag Prepares for Electric-Powered Future - Farm Equipment [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.farm-equipment.com/articles/20408-ag-prepares-for-electric-powered-future> – дата обращения 20 октября 2024 года
135. Electrification in the Agriculture Industry: What You Need to Know [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://blog.machinefinder.com/34150/electrification-in-the-agriculture-industry-what-you-need-to-know> – дата обращения 20 октября 2024 года
136. The Electrification of Agricultural Equipment: Tractor & Implements – КЕВ [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://www.kebamerica.com/blog/electrified-farming-implements-for-agriculture-industry/> – дата обращения 20 октября 2024 года

137. Electric Tractors in Farming: 15 Benefits - Monarch Tractor [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.monarchtractor.com/blog/electric-tractors-farming> – дата обращения 20 октября 2024 года

138. Could Electric Tractors Revolutionize Farming? | Smithsonian [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/could-electric-tractors-revolutionize-farming-180982012/> – дата обращения 20 октября 2024 года

139. The Future of EV Tractors in Agriculture - Monarch Tractor [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.monarchtractor.com/blog/ev-tractors> – дата обращения 20 октября 2024 года

140. Revolutionizing Farms: How Electric Tractors Are ... - Cannon Creek Farm [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cannoncreek.com/guide-to-electric-tractors> – дата обращения 20 октября 2024 года

141. The Impact of Electric Farm Vehicles on Green Agriculture [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://husfarm.com/article/the-impact-of-electric-farm-vehicles-on-green-agriculture> – дата обращения 20 октября 2024 года

142. Most Realistic Applications of EV Technology on the Farm - Farm Equipment [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.farm-equipment.com/articles/20414-most-realistic-applications-of-ev-technology-on-the-farm> – дата обращения 20 октября 2024 года

143. Electric Tractors are Rolling Out in the Field. Here's What That Could Mean for Farmers [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://modernfarmer.com/2023/04/electric-tractors-are-rolling-out-in-the-field-heres-what-that-could-mean-for-farmers/> – дата обращения 20 октября 2024 года

144. The Future is Green: How Electric Tractor is Revolutionizing Farming [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cropsreview.com/electric-tractor/> – дата обращения 20 октября 2024 года

145. Challenges ahead for manufacturers trying to electrify farm vehicles [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.wisfarmer.com/story/news/2021/08/30/challenges-ahead-manufacturers-trying-electrify-farm-vehicles/5657095001/> – дата обращения 20 октября 2024 года
146. Challenges slow farm vehicle electrification - Energy News Network [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://energynews.us/2021/08/18/weight-dawn-to-dusk-demands-pose-challenges-to-electrifying-farm-vehicles/> – дата обращения 20 октября 2024 года
147. Rural Electrification - John Deere NAF [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.deere.com/en/publications/the-furrow/2022/march-2022/rural-electrification/> – дата обращения 20 октября 2024 года
148. Electric powered farm vehicles set to revolutionise agriculture sector [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.impactlab.com/2019/08/03/electric-powered-farm-vehicles-set-to-revolutionise-agriculture-sector/> – дата обращения 20 октября 2024 года
149. Weight, dawn-to-dusk demands pose challenges to electrifying farm vehicles [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.minnpost.com/other-nonprofit-media/2021/08/weight-dawn-to-dusk-demands-pose-challenges-to-electrifying-farm-vehicles/> – дата обращения 20 октября 2024 года
150. How even small-scale farmers benefit from precision ag tech - AGDAILY [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agdaily.com/technology/how-small-scale-farmers-benefit-from-precision-ag-tech/> – дата обращения 20 октября 2024 года
151. What factors shape small-scale farmers' and firms' adoption of new technologies? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fao.org/support-to-investment/news/detail/en/c/1652579/> – дата обращения 20 октября 2024 года
152. Electrification of Agricultural Machinery: A Review [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://cris.unibo.it/bitstream/11585/849271/4/Electrification_of_Agricultural_Machinery_A_Review.pdf – дата обращения 20 октября 2024 года

153. John Deere rolls out new battery-powered farming and construction equipment [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.zdnet.com/article/new-battery-powered-farming-and-construction-equipment-from-john-deere-at-ces-2023/> – дата обращения 20 октября 2024 года
154. Deere Debuts New Planting Technology & Electric Excavator During CES 2023 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.deere.com/en/news/all-news/deere-debuts-new-planting-technology-and-electric-excavator-ces-2023/> – дата обращения 20 октября 2024 года
155. Agriculture: Developments in Lithium Battery Technology [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://delta-q.com/industry-news/agriculture-developments-in-lithium-battery-technology/> – дата обращения 20 октября 2024 года
156. AGRITECHNICA 2023: Bosch presents electrification solutions for agricultural machinery [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/agritechnica-2023-bosch-presents-electrification-solutions-for-agricultural-machinery-259840.html> – дата обращения 20 октября 2024 года
157. Митягин Г.Е., Бисенов М.К., Шейкин В.С. Специфика использования литий-ионных аккумуляторных батарей и ее влияние на образование отходов // Международный технический журнал. 2023. №2 . С. 7-21.
158. Weigl D., Inman D., Hettinger D., Ravi V., Peterson S. Battery Energy Storage Scenario Analyses Using the Lithium-Ion Battery Resource Assessment (LIBRA) (NREL/TP-6A20-81875) – Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2022. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/81875.pdf>. – дата обращения 10 сентября 2023 года
159. Митягин Г.Е., Бисенов М.К., Шамаева А.О. Результаты исследования технологического процесса разборки высоковольтной тяговой батареи электромобиля // Техника и технология: теория и практика. 2022. №4 (6). С. 7-21.
160. Митягин Г.Е., Бисенов М.К. Обзор примеров коммерческих проектов замены двигателей внутреннего сгорания автомобилей на электродвигатель // Техника и технология: теория и практика. 2023. №2 (8). С. 16-31.

161. Общие тенденции и изменения, связанные с электромобилями и инфраструктурой для их зарядки – обзор текущего положения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://unece.org/sites/default/files/2023-07/ECE-TRANS-WP5-2023-04r.pdf> – дата обращения 10 сентября 2023 года
162. Thielmann A., Sauer A., Isenmann R., Wietschel M. Tehnology roadmap energy storage for electric mobility 2030 – Karlsruhe, Germany, Fraunhofer Institute for Systems and Innovations Research (ISI), 2013. 30 s. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.isi.fraunhofer.de – дата обращения 10 сентября 2023 года
163. Drabik E., Rizos V., Prospects for electric vehicle batteries in a circular economy – Brussel, Belgium, CEPS energy climate house (ISI), 2018. 39 s. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.ceps.eu – дата обращения 10 сентября 2023 года
164. Fraser J., Anderson J., Lazuen J., Lu Y., Heathman O., Brewsarter N., Bedder J., Masson O. Study on future demand and supply security of nickel for electric vehicle batteries – Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2021. 144 s. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.ec.europa.eu/jrc – дата обращения 10 сентября 2023 года
165. Джутон Э., Рейн К., Совант-Мойно В., Орсини Ф., Сабер К., Бача С., Бету О., Лабуре Э. Электромобиль: устройство, принцип работы, инфраструктура / пер. с франц. В.И. Петровичева. – М.: ДМК-Пресс, 2022. – 440 с.
166. Пат. RU 2682321 C1 Российская Федерация, МПК H01M 4/04, H01M 4/131, H01M 4/36, H01M 4/525, H01M 10/04, H01M 4/0525. Литий-ионная вторичная батарея и способ ее изготовления / Хори Ю.; заявитель и патентообладатель Тойота Дзидося Кабусики Кайся. – № 2018114078; заявл. 17.04.2018; опубл. 19.03.2019, Бюл. № 8. – 25 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2682321C1_20190319 – дата обращения 10 ноября 2023 года
167. Yingnakorn T., Hartley J., Terreblanche J. S., Chunhong Lei, Dose W.M., Abbott A. P. Direct re-lithiation strategy for spent lithium iron phosphate battery in Li-based eutectic using organic reducing agents / Tanongsak Yingnakorn, Jennifer Hartley, Jason

S. Terreblanche, Chunhong Lei, Wesley M. Dose, Andrew P. Abbott // RSC Sustainability. – 2023, № 1, s. 2341–2349 [Электронный журнал] – Режим доступа: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2023/su/d3su00237c> – дата обращения 10 ноября 2023 года

168. How Nissan Recycles Depleted EV Batteries and Rescues Them to Power Japan [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autoevolution.com/news/how-nissan-recycles-depleted-ev-batteries-and-rescues-them-to-power-japan-155773.html> – дата обращения 10 ноября 2023 года

169. Средний возраст легковых автомобилей в России – 14 лет [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/51290/> – дата обращения 10 ноября 2023 года

170. Какой срок «жизни» электромобиля в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.autostat.ru/editorial_column/55010/ – дата обращения 10 ноября 2023 года

171. Общие тенденции и изменения, связанные с электромобилями и инфраструктурой для их зарядки — обзор текущего положения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://unece.org/sites/default/files/2023-07/ECE-TRANS-WP5-2023-04r.pdf> – дата обращения 28 февраля 2024 года

172. How Nissan Recycles Depleted EV Batteries and Rescues Them to Power Japan [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autoevolution.com/news/how-nissan-recycles-depleted-ev-batteries-and-rescues-them-to-power-japan-155773.html> – дата обращения 28 февраля 2024 года

173. ВИЭ 30 дней подряд на 100% обеспечили Калифорнию электроэнергией [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://hightech.plus/2024/04/16/vie-30-dnei-podryad-na-100-obespechivali-kaliforniyu-elektroenergiei> – дата обращения 16 апреля 2024 года

174. Melin H.E. The lithium-ion battery end-of-life market – A baseline study For the Global Battery Alliance. Circular Energy Storage [Электронный ресурс] – Режим доступа:

https://www3.weforum.org/docs/GBA_EOL_baseline_Circular_Energy_Storage.pdf –

дата обращения 28 февраля 2024 года

175. Melin H.E. State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning-->

[innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-](https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf)

[batteries-2019.pdf](https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf) – дата обращения 28 февраля 2024 года

176. Бурак П.И., Голубев И.Г., Федоренко В.Ф., Мишуоров Н.П., Гольцяпин В.Я. Состояние и перспективы обновления парка сельскохозяйственной техники: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 152 с.

177. Минсельхоз заявил об отсутствии дефицита сельхозтехники для сезонных полевых работ. Сейчас у аграриев есть более 560 тысяч тракторов и комбайнов [Электронный ресурс] – Режим доступа:

[https://www.agroinvestor.ru/markets/news/41393-minselkhoz-zayavil-ob-otsutstvii-](https://www.agroinvestor.ru/markets/news/41393-minselkhoz-zayavil-ob-otsutstvii-defitsita-selkhoztekhniki-dlya-sezonnykh-polevykh-rabot/)

[defitsita-selkhoztekhniki-dlya-sezonnykh-polevykh-rabot/](https://www.agroinvestor.ru/markets/news/41393-minselkhoz-zayavil-ob-otsutstvii-defitsita-selkhoztekhniki-dlya-sezonnykh-polevykh-rabot/) – дата обращения 01 ноября 2024 года

178. Bloomberg: производство двигателей и батарей для EV сложнее, чем выпуск ДВС [Электронный ресурс] – Режим доступа:

[https://abw.by/news/rb/2023/11/10/bloomberg-proizvodstvo-dvigateli-i-batarei-dlya-](https://abw.by/news/rb/2023/11/10/bloomberg-proizvodstvo-dvigateli-i-batarei-dlya-ev-slozhnee-chem-vypusk-dvs)

[ev-slozhnee-chem-vypusk-dvs](https://abw.by/news/rb/2023/11/10/bloomberg-proizvodstvo-dvigateli-i-batarei-dlya-ev-slozhnee-chem-vypusk-dvs) 10 Ноября 2023 14:3010699

179. Титов, В. В. Исследование влияния управляемого электромеханического звена автомобиля с комбинированной энергоустановкой на технико-экономические показатели : специальность 5.2.3 "Региональная и отраслевая экономика (Экономика промышленности)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Титов Виктор Владимирович. – Нижний Новгород, 2023. – 158 с.

180. Yazan Al-Wreikat, Emily Kate Attfield, Jos'e Ricardo Sodr'e Model for payback time of using retired electric vehicle batteries in residential energy storage systems Energy 259 (2022) 124975 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124975> – дата обращения 01 ноября 2024 года

181. Электрическая трансмиссия для колёсного трактора [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rubruks.com/a/rubruks2/images/blog/PDF/ehlektricheskaya-transmissiya-dlya-kolyosnogo-traktora.pdf> – дата обращения 01 ноября 2024 года
182. Электрическая трансмиссия для гусеничного бульдозера [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rubruks.com/a/rubruks2/images/blog/PDF/elektricheskaya-transmissiya-dlya-gusenichnogo-buldozera.pdf> – дата обращения 01 ноября 2024 года
183. Электроплатформа «Урал» на выставке "Comtrans-2023" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rubruks.com/a/rubruks2/images/blog/PDF/ehlektroplatforma-ural-na-vystavke-comtrans-2023.pdf> – дата обращения 01 ноября 2024 года
184. Каждая пятая современная машина списывается после ДТП из-за высоких затрат на дорогое современное оборудование ADAS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/news/2024/06/03/kazhdaja-pjataja-sovremennaja-mashina-spisyvaetsja-posle-dtp-izza-vysokih-zatrat-na-dorogoe-sovremennoe-oborudovanie.html> – дата обращения 03 июня 2024 года
185. ГОСТ Р 50995.0.1-96 Технологическое обеспечение создания продукции. Общие положения. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 1997. – 11 с.
186. Дидманидзе О.Н., Есеновский-Лашков Ю.К., Асадов Д.Г., Пуляев Н.Н., Пильщиков В.Л., Чупеев Я.В., Козлов С.В. Особенности конструкции специализированного подвижного состава: учебное пособие. / О. Н. Дидманидзе, Ю.К. Есеновский-Лашков, Д.Г. Асадов, Н.Н. Пуляев, В.Л. Пильщиков, Я.В. Чупеев, С.В. Козлов. – М.: ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина», 2004. – 53 с.
187. Советский электромобиль ВАЗ-2801: за 30 лет до Tesla [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/999903/?ysclid=ljy6qu3dcd873229951> – 28.10.2022.

188. Электромобиль УАЗ-3801 с аккумуляторной энергоустановкой [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://uazbuka.ru/models/uaz-3801_electro.html?ysclid=ljy6nbee1r105011957 – 28.10.2022.
189. Дидманидзе О.Н., Иванов С.А., Карев А.М., Асадов Д.Г., Бобровицкий Н.М. Использование суперконденсаторов в системах электрооборудования мобильных электроагрегатов: учебное пособие/ О.Н. Дидманидзе, С.А. Иванов, А.М. Карев, Д.Г. Асадов, Н.М. Бобровицкий. – М.: ООО «УМЦ «ТРИАДА», 2012. – 140 с.
190. Дидманидзе О.Н., Иванов С.А., Смирнов Г.Н., Асадов Д.Г. Использование суперконденсаторов в системах электрооборудования тягово-транспортных средств: монография. / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, Г. Н. Смирнов, Д. Г. Асадов. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2005. – 160 с.
191. Дидманидзе О. Н., Карев А. М., Пуляев Н. Н., Асадов Д. Г. Научные основы обеспечения эффективности технической эксплуатации перспективных транспортно-технологических машин. Монография / О. Н. Дидманидзе, А. М. Карев, Н. Н. Пуляев, Д. Г. Асадов. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2008. – 113 с.
192. Электрогрузомобиль EVM PRO. Реальность или вымысел? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/620548420871925993/?ysclid=ljyb55ossw825516508> – 28.10.2022.
193. CONVERTIR SON UTILITAIRE LÉGER À L'ÉLECTRIQUE [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tolv-systems.com/convertir-utilitaire-electrique/> – 28.10.2022.
194. Renault to offer retrofits for its most iconic cars to turn EV [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.electrive.com/renault-to-offer-retrofit-kits-for-its-most-iconic-cars-to-turn-ev/> – 28.10.2022.
195. Renault And R-Fit Team Up To Make Electric Retrofit Kits For Classics [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://insideevs.com/news/651388/renault-4-le-car-ev-retrofit-conversion-kit/> – 28.10.2022.

196. ELECTRIC LAND ROVER DEFENDER CONVERSION [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.twistedautomotive.com/electric/> – 28.10.2022.
197. BIFFA AND LUNAZ: PARTNERS IN UP-CYCLING [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://lunaz.tech> – 28.10.2022.
198. Lunaz upcycled electric garbage trucks are a model for reuse, carbon reduction vs. new [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.greencarreports.com/news/1135940_lunaz-upcycle-electric-garbage-trucks-reuse-carbon-reduction – 28.10.2022.
199. [Lunaz quadruples its production facility to drive growth](https://www.whichev.net/wp-content/uploads/2022/05/4.UEVFront34-1140x815.png) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.whichev.net/wp-content/uploads/2022/05/4.UEVFront34-1140x815.png> – 28.10.2022.
200. Патент DE-102012024796 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.patentbuddy.com/Patent/DE-102012024796-B4?jsessionId=C54B00F937F465315C208342237AD317?ft=true&sr=true> – 28.10.2022.
201. ELANTRIE DER PATENTIERTE, WIEDERVERWENDBARE ELEKTROANTRIEB FÜR SERIENFAHRZEUGE [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elantrie.com/#> – 28.10.2022.
202. Sustainable, reliable & affordable energy systems, [Find Your Solution Now!](https://ev-evolution.eu/solution/universal-ev-conversion-kit/) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ev-evolution.eu/solution/universal-ev-conversion-kit/> – 28.10.2022.
203. EV Transmission Adapter 15/30kW 96V AC [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://wiki.ev-evolution.eu/ev-transmission-adapter-15-30kw-96v-ac> – 28.10.2022.
204. 72-120V Electric Water Heater for EV [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://wiki.ev-evolution.eu/72-120v-electric-water-heater-for-ev> – 28.10.2022.
205. Постановление Правительства РФ от 6 апреля 2019 г. N 413 "Об утверждении Правил внесения изменений в конструкцию находящихся в эксплуатации колесных транспортных средств и осуществления последующей проверки выполнения требований технического регламента Таможенного союза "О

- безопасности колесных транспортных средств" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/72218424/?ysclid=ljwtxt2x71173071753> – 28.10.2022.
206. Catl батареи [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://aliexpress.ru/popular/catl-battery.html> – 28.10.2022.
207. Двигатель SHINEGLE переменного тока 96 в 10 кВт для электромобиля, полный комплект, поставщик преобразования, тяговый двигатель для электромобиля [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/1005004600538066.html?sku_id=12000029784122321 – 28.10.2022.
208. «ЭЛЬТАВР» ПЕРВЫЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ МАЛОГО КОММЕРЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В РОССИИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ELTAVR.RU/?YSCLID=LJWVHAT20471413704> – 28.10.2022.
209. Электро-комплект для оборудования любого транспортного средства массой до 2-х тонн на электротягу [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://eltavr.ru/kit-komplekt/> – 28.10.2022.
210. Одномоторная компоновка с ручной КПП [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://z-ion.pro/odnomotornaya-komponovka-s-ruchnoj-kpp/> – 28.10.2022.
211. Гибридный независимый привод [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://z-ion.pro/gibridnyj-nezavisimyj-privod/> – 28.10.2022.
212. Независимый интеллектуальный привод [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://z-ion.pro/dvuhmotornyj-nezavisimyj-intellektualnyj-privod/> – 28.10.2022.
213. Крымская компания готовит два электромобиля [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://auto.ru/mag/article/krymskaya-kompaniya-gotovit-2-elektromobilya-legkovoy-i-na-baze-buhanki/> – 10.12.2022.
214. «Жигулям» поставят электрическое сердце: что такое ремоторизация. Приживется ли электромодинг старых автомобилей в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://iz.ru/1456024/kirill-sazonov-evgenii->

bagdasarov/zhiguliam-postaviat-elektricheskoe-serdtce-что-такое-remotorizatciia?ysclid=llnjolkob9929905563 – 18 января 2023 года

215. Зангиев А.А. Оптимизация эксплуатационных параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов. – М.: МГАУ, 1996. – 80 с.
216. Зангиев А.А. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов. – М.: МГАУ, 1991. – 87 с.
217. Зангиев А.А., Дидманидзе О.Н., Кандеев И.В. Выбор высокоэффективных тяговых машинно-тракторных агрегатов с учетом зональных условий (на примере Нечерноземной зоны РСФСР). – М.: Россельхозиздат, 1985. – 24 с.
218. Зангиев А. А., Дидманидзе О. Н., Митягин Г. Е. Повышение эффективности работы сервисных служб машинно-технологических станций: монография. – М. : Агроконсалт, 2001. – 109 с.
219. Митягин, Г. Е. Повышение эффективности работы сервисных служб машинно-технологических станций: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Митягин Григорий Евгеньевич. – Москва, 2002. – 139 с.
220. Умняшкин, В. А. Выбор мощности тягового электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания и параметров накопителей гибридных автомобилей / В. А. Умняшкин [и др.]. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 137 с.
221. Зангиев А.А., Лышко Г.П., Скороходов А.Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1996. – 320 с.
222. Михлин В.М. Сборник нормативных материалов на работы, выполняемые машинно-технологическими станциями. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 188 с.
223. Конкин Ю.А. Экономическое обоснование внедрения мероприятий научно-технического прогресса в АПК. – М.: МИИСП, 1991. – 79 с.
224. Бисенов М.К., Шейкин В.С. Теоретические основы формирования производственно-технической базы для обеспечения повторного использования

выбывших из эксплуатации аккумуляторных батарей электромобилей и гибридных автомобилей / М.К. Бисенов, В.С. Шейкин // Международный технический журнал. – 2023. – № 2. – С. 44-61

225. Hu, X.; Yan, W.; Zhang, X.; Feng, Z.; Wang, Y.; Ying, B.; Zhang, H. LRP-Based Design of Sustainable Recycling Network for Electric Vehicle Batteries. Processes 2022, 10, 273. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/pr10020273> – дата обращения 10 ноября 2023 года

226. Pesaran, Ahmad, Lauren Roman, John Kincaide. 2023. Electric Vehicle Lithium-Ion Battery Life Cycle Management. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5700-84520. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/84520.pdf> – дата обращения 10 ноября 2023 года

227. Phophongviwat, T.; Polmai, S.; Maneeinn, C.; Hongesombut, K.; Sivalertporn, K. Technical Assessment of Reusing Retired Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries in Thailand. World Electr. Veh. J. 2023, 14, 161. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/wevj14060161> – дата обращения 10 ноября 2023 года

228. Рынок новых электромобилей в России в 2022 году установил рекорд [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/53604/?ysclid=lgkz51jpxa609298533> – дата обращения 10 ноября 2023 года

229. Асадов Д. Г. Обоснование оптимального количества зарядных станций электромобилей // Международный технико-экономический журнал. — 2011. — № 5. С. 131—135.

230. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

231. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.

232. Шикин Е.В., Шикина Г.Е. Исследование операций. – М.: Проспект, 2008. – 218 с.

233. Анискин В.И., Барзилович Е.Ю., Полищук В.М. Вероятностные методы решения задач эксплуатации сельскохозяйственной техники. – М.: Сборник трудов ВИМ. Т.128. 1992. С. 11 – 77

234. Митягин Г.Е., Бисенов М.К., Авдеев Е.А. Применение методов теории массового обслуживания для обоснования параметров и режимов работы постов демонтажа и сортировки // Международный технико-экономический журнал. – 2012. № 5. С. 115 – 119.
235. Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е., Бисенов М.К. Теоретические основы определения оптимальных характеристик пунктов приема автомобильных компонентов и материалов, выбывших из эксплуатации // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2011. № 4. С. 113 – 121.
236. Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е., Бисенов М.К., Авдеев Е.А. Методика определения объема приема техники на утилизацию и радиуса обслуживания приемным пунктом // Международный научный журнал. – 2013. № 1. С. 94 – 100.
237. Первые автомобили Tesla уже израсходовали ресурс аккумулятора: замена обойдется очень дорого [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://trashbox.ru/link/2021-10-03-_electriccar-tesla-_repairs? – дата обращения 03.03.2024
238. Свиридов А. Эра электромобилей или эра мертвых батарей? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/573538/?> – дата обращения 03.03.2024
239. Червенчук В.Д., Забудский А.И. К вопросу о специфике технического обслуживания и ремонта гибридных энергетических силовых установок [Текст] / В.Д. Червенчук, А.И. Забудский // Вестник Омского ГАУ. – 2018. – № 3. – С. 102-112
240. Очередь к розетке: 10 самых популярных электромобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/articles/22433/> – дата обращения 26 января 2024 года
241. В России числится более 50000 электромобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/58251> – дата обращения 09 августа 2024 года

242. Главный электромобиль мира – не Tesla. Как устроен Nissan Leaf и почему он такой популярный [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://trushering.ru/tp/18844> – дата обращения 03.03.2024
243. Nissan Leaf ZE0/AZE0/ZE1. Все поколения Nissan Leaf. ОБЗОР [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=fHQCyuAq3gk&t=383s> – дата обращения 03 марта 2024 года
244. Типы литий-ионных аккумуляторов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mobipower.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=604&ysclid=li rarq7hec45809465> – дата обращения 07.11.2022
245. Li NMC аккумулятор [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://istochnikipitaniy.ru/akkumulyatory/batarei/li-nmc.html?ysclid=lj3w5c4aqe187689983> – дата обращения 07.11.2022
246. В чем разница 18650-аккумуляторов по маркировке и химии [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://neovolt.ru/blog/957_18650-imr-icr-inr-ifr-nca – дата обращения 07.11.2022
247. LiFePO4 аккумуляторы - особенности эксплуатации <https://virtustec.ru/news/lifepo4-akkumulyatory-plyusy-i-minusy-nyuansy-ekspluatacii.html?ysclid=lj3x4ehvqr388171816> – дата обращения 07.11.2022
248. Батарея Nissan Leaf [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ion-cars.ru/battery-nissan-leaf-24-30-kw/?ysclid=lj3vpi1v61997638195> – дата обращения 07.11.2022
249. Модуль батареи Nissan Leaf [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ion-cars.ru/wp-content/uploads/2018/04/module-battery-nissan-leaf.jpg> – дата обращения 07.11.2022
250. Митягин, Г. Е., Бисенов М.К. Разработка технологического процесса разборки высоковольтной тяговой батареи электромобиля [Текст] / Г. Е. Митягин, М.К. Бисенов // Международный технический журнал. – 2024. – № 1. – С. 24-35
251. Митягин, Г. Е., Легеза Г. В., Ивакина Е. Г. Основы эффективного использования средств обслуживания и заряда накопителей транспортных средств

с комбинированными энергетическими установками [Текст] / Г. Е. Митягин, Г. В. Легеза, Е. Г. Ивакина // Международный научный журнал. – 2009. – № 1. – С. 69-72

252. Модуль литий-ионной батареи VDA355 NMC 51 А·ч [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.lythbattery.com/vda355-nmc-lithium-ion-battery-module-51ah-1p12s/?lang=ru> – дата обращения 18 января 2024 года

253. Российские литий-ионные АКБ для источников бесперебойного питания [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://renera.ru/company/ustojchivoerazvitie/files/brochure_Renera_210x297%20имиджевая_ver17.pdf?ysclid=lrt439emks415859030 – дата обращения 18 января 2024 года

254. Накопители энергии ECOMETA. Литий-ионные батареи и системы накопления энергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ecometa.ru/wp-content/uploads/2023/11/Katalog_ECOMETA_210x297.pdf – дата обращения 18 января 2024 года

255. APPROVAL SPECIFICATION Lithium Ion Rechargeable cell Model: ETI123100302 E60A [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.enertechint.com/prog/product/view_eng.php?no=51&cat_no=13&depth=1 – дата обращения 06 февраля 2024 года

256. LG SK-E556 NCM Lithium Battery Cell 3,65V 59AH Lithium-ion Pouch Cells [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://china.org.ru/product/ru/1600675651105> – дата обращения 06 февраля 2024 года

257. Hyundai Motor Group возглавит рынок в эпоху электромобильности с помощью платформы E-GMP [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kia.ru/press/news/212/> – дата обращения 02 декабря 2023 года

258. Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е., Пуляев Н.Н., Дидманидзе Р.Н., Федоткин Р.С., Бисенов М.К. Учебно-тренировочный комплекс «Электромобиль»: учебное пособие / О.Н. Дидманидзе, Г.Е. Митягин, Н.Н. Пуляев, Р.Н. Дидманидзе, Р.С. Федоткин, М.К. Бисенов. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2023. – 50 с.

259. Лабораторный стенд «Модель электромобиля» [Электронный ресурс] – Режим

доступа:

(https://labstand.ru/catalog/elektrosilovye_dvigatelnye_ustanovki/laboratornyy_stend_elektromobil_statsionarnoe_ispolnenie_em_mv_s_6458) – дата обращения 11 января 2024 года

260. Лабораторный стенд «Изучение тяговых аккумуляторов электромобилей» [Электронный ресурс] – Режим доступа:

(https://labstand.ru/catalog/moduli_nakopleniya_elektroenergii/laboratornyy_stend_moduli_nakopleniya_elektroenergii_6460) – дата обращения 11 января 2024 года

261. Исследовательский стенд «Вентильный двигатель» [Электронный ресурс] – Режим доступа:

(https://labstand.ru/catalog/ventilnyy_dvigatel/tipovoy_komplekt_uchebnogo_oborudovaniya_ventilnyy_dvigatel_6478) – дата обращения 11 января 2024 года

262. Стенд-планшет «Двигатель постоянного тока» СП-ЭД-ДПТ [Электронный ресурс] – Режим доступа:

(https://labstand.ru/catalog/ventilnyy_dvigatel/stend_planshet_dvigatel_postoyannogo_toka_sp_ed_dpt_6788) – дата обращения 11 января 2024 года

263. Стенд-планшет «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» СП-ЭД-АДКР [Электронный ресурс] – Режим доступа:

(https://labstand.ru/catalog/ventilnyy_dvigatel/stend_planshet_asinkhronnyy_dvigatel_s_korotkozamknutym_rotorom_sp_ed_adkr_6480) – дата обращения 11 января 2024 года

264. Стенд-планшет «Вентильный двигатель» СП-ЭД-В [Электронный ресурс] – Режим доступа:

(https://labstand.ru/catalog/ventilnyy_dvigatel/stend_planshet_ventilnyy_dvigatel_sp_ed_vd_6752) – дата обращения 11 января 2024 года

265. Лабораторный стенд «Мотор колесо» МК [Электронный ресурс] – Режим доступа:

(https://labstand.ru/catalog/spets-el-mashiny/laboratornyy_stend_motor_koleso_mk_5936) – дата обращения 11 января 2024 года

266. Учебный лабораторный стенд НТЦ-15.51 «Аккумуляторная батарея» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-51-akkumulyatornaya-batareya/> – дата обращения 11 января 2024 года
267. Учебный лабораторный стенд НТЦ-15.53 «Бортовая система управления электромобилем» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-53-bortovaya-sistema-upravleniya-elektromobilem/> – дата обращения 11 января 2024 года
268. Учебный лабораторный стенд НТЦ-15.54 «Разрезная модель синхронного двигателя» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-54-razreznaya-model-sinhronnogo-dvigatelya/> – дата обращения 11 января 2024 года
269. Учебный лабораторный стенд НТЦ-15.55 «Разрезная модель мотор-колеса» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-55-razreznaya-model-motor-kolesa/> – дата обращения 11 января 2024 года
270. Учебный лабораторный стенд НТЦ-15.56 «Разрезная модель блока управления двигателя электромобиля» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-56-razreznaya-model-bloka-upravleniya-dvigatelya-elektromobilya/> – дата обращения 11 января 2024 года
271. Учебный лабораторный стенд НТЦ-15.57 «Разрезная модель аккумуляторной батареи» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-57-razreznaya-model-akkumulyatornoj-batarei/> – дата обращения 11 января 2024 года
272. Учебный лабораторный стенд НТЦ-15.52 «Зарядное устройство» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-52-zaryadnoe-ustrojstvo/> – дата обращения 11 января 2024 года
273. Стенд НТЦ-15.50 «Электромобиль Nissan» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-50-elektromobil-nissan/>) – дата обращения 11 января 2024 года

274. Стенд НТЦ-15.50.1 «Электромобиль BMW i3» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-50-1-elektromobil-bmw-i3-2/> – дата обращения 11 января 2024 года
275. Стенд НТЦ-15.50.2 «Электромобиль BMW i3 (Wi-Fi)» <https://ntpcentr.ru/catalog/avtomobilnaya-tekhnika/ntc-15-50-2-elektromobil-bmw-i3-wi-fi/> – дата обращения 11 января 2024 года
276. Стенд «Рабочая модель электромобиля Nissan Leaf» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://labstand.ru/catalog/ustrojstvo-electromobilya/rabochaya-model-electromobilya-nissan-leaf> – дата обращения 11 января 2024 года
277. Как составить хронометраж рабочего времени для сотрудника [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.business.ru/article/2090-hronometraj-rabochego-vremeni?ysclid=lirb4n5zkc253349657> – дата обращения 07.11.2023
278. Бланки для хронометражных наблюдений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://assistentus.ru/forma/hronometrazh-rabochego-vremeni/?ysclid=ligjwznhgx666615349> – дата обращения 07.11.2023
279. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS MVM-PM1-10 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rubruks.com/produkcija/elektrodvigateli/ehlektrodvigatel-10-kvt-6000-ob-min-mvm-pm1-10.html> – дата обращения 07 октября 2024
280. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS MVM-PM1-15 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rubruks.com/produkcija/elektrodvigateli/ehlektrodvigatel-15-kvt-9000-ob-min-mvm-pm1-15.html> – дата обращения 07 октября 2024
281. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS HVM-PM1-18 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rubruks.com/produkcija/elektrodvigateli/ehlektrodvigatel-18kvt-9000-ob-min-hvm-pm1-18.html> – дата обращения 07 октября 2024
282. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS MVM-PM1-35 [Электронный ресурс] – Режим

доступа:<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-35-kvt-5000-ob-min-mvm-pm1-35.html> – дата обращения 07 октября 2024

283. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS HVM-PM1-55 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-55-kvt-9000-ob-min-hvm-pm1-55.html> – дата обращения 07 октября 2024

284. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS MVM-PM1-60 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-60-kvt-9000-ob-min-mvm-pm1-60.html> – дата обращения 07 октября 2024

285. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS MVM-PM1-80 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-80-kvt-9000-ob-min-mvm-pm1-80.html> – дата обращения 07 октября 2024

286. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS HVM-PM1-85 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-85-kvt-9000-ob-min-hvm-pm1-85.html> – дата обращения 07 октября 2024

287. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS HVM-PM1-125 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-125-kvt-9000-ob-min-hvm-pm1-125.html> – дата обращения 07 октября 2024

288. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS MVM-PM1-125 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-125-kvt-9000-ob-min-mvm-pm1-125.html> – дата обращения 07 октября 2024

289. Электродвигатель переменного тока RUBRUKS HVM-PM1-240 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://rubruks.com/produkcija/elektrodivigateli/ehlektrodivigatel-240-kvt-9000-ob-min-hvm-pm1-240.html> – дата обращения 07 октября 2024

290. Электродвигатель EV Tech [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<http://ev-tech.me/wp-content/uploads/2020/05/booklet.pdf> – дата обращения 07 октября 2024
291. Емельянов А.А., Пельимская И.С., Березюк М.В. Экономическое обоснование переработки электронных отходов и лома в РФ // Modern Economy Success. 2019. №1. С. 38-45. [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://www.elibrary.ru/download/elibrary_37258485_32091805.pdf
– дата обращения 03 марта 2024 года
292. Мугалимов Р.Г., Закирова Р.А., Мугалимова А.Р., Одинцов К.Э. Повышение энергоэффективности и ресурсосбережение при капитальном ремонте, модернизации и утилизации двигателей асинхронных электроприводов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова. 2018. Т. 16. №3. С. 145-159. [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35682100_74224374.pdf – дата обращения 03 марта 2024 года
293. Уникальный вездеход-транспортировщик [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://www.zr.ru/content/news/960308-ne-za-rulem-vezdekhod-transpor/> – дата обращения 01 декабря 2024 года
294. Дидманидзе О.Н., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Пуляев Н.Н., Солнцев А.А., Зиманов Л.Л. Обоснование параметров конструкции малогабаритного грузового электрического транспортного средства для селекции и семеноводства // Transport business in Russia. 2024. № 2. С. 115-118
295. ГОСТ Р 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы оценки» – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2018. – 15 с.