

На правах рукописи



Грушецкий Станислав Михайлович

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Специальность 2.5.11. Наземные транспортно-технологические
средства и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Евтюков Сергей Аркадьевич.

Официальные оппоненты: **Зорин Владимир Александрович,**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»,
кафедра производства и ремонта автомобилей
и дорожных машин, заведующий;

Корчагин Павел Александрович,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
проректор по научной работе и цифровой
трансформации;

Жулай Владимир Алексеевич,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет», кафедра строительной
техники и инженерной механики имени профессора
Н. А. Ульянова, заведующий.

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I».**

Защита состоится «14» декабря 2023 года в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.05 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» СПбГАСУ по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория №220). Тел./Факс: (812) 316-58-73; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/grusheckiy-stanislav-mihaylovich>.

Автореферат разослан «05» октября 2023 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Е. В. Куракина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Указом Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» предусмотрено создание безопасных и качественных автомобильных дорог (АД). Последнее принципиально обновляет методологию организации и управления процессом функционирования новых механизмов развития и эксплуатации дорожной сети в рамках, соответствующих национальным проектам. Цели, установленные данным национальным проектом, вместе с поставленными задачами в рамках системы производственной эксплуатации наземных транспортно-технологических машин (НТТМ) могут быть реализованы на научной основе теоретическими и методологическими средствами обоснования управления процессом обеспечения эффективной эксплуатации НТТМ в строительстве, реконструкции, ремонте и содержании АД общего пользования с исполнением требований к контролю качества выполняемых ими технологических процессов.

Сегодня имеется достаточно научно-организационной и научно-технической информации по системному анализу условий эксплуатации НТТМ, в частности по производственной эксплуатации (обеспечение соответствующего процесса); технической эксплуатации (исследование технического состояния машин); ресурсно-эффективной эксплуатации (обеспечение высокого коэффициента сохранения эффективности, применение CALS-технологий и другие методы), среди которых преобладают работы по технической и ресурсно-эффективной эксплуатации НТТМ. Это связано, с одной стороны, с тем, что до 80 % эффективности использования машин обеспечивается именно их системой технической эксплуатации. С другой стороны, внеплановые простои достигают до 30 % фонда общего времени, что является низким показателем использования машин.

При оценке технического состояния НТТМ задача выполнения требуемых объемов работ рассматривается как второстепенная. Объясняется это тем, что выполнение объемов работ НТТМ (как совокупности процессов управления по обеспечению эффективности применения) находится в области производственной эксплуатации, а обеспечение технического состояния НТТМ – в области эксплуатации технической и ресурсно-эффективной. При этом технически исправное состояние НТТМ не является гарантией выполнения требуемых объемов работ. Поэтому задача обеспечения технически исправного состояния НТТМ считается первостепенной. Таким образом, решение указанной проблемы остро востребовано, оно является актуальным и зависит от основного предназначения НТТМ – выполнения требуемых объемов работ. Только на основании этого можно решать все остальные задачи, связанные с технической и ресурсно-эффективной эксплуатацией НТТМ.

Универсальным критерием, позволяющим оценить одновременно эффективность и качество производственных процессов, выполняемых НТТМ, должна объективно являться производительность (техническая, эксплуатационная) машин. Формально нет ни одного производственного и технического параметра НТТМ, которые бы не отразились на их производительности. Следует также отметить, что производительность машин связана с выполнением требуемых объемов работ – главной целью производственной эксплуатации НТТМ, а объемы работ – с конкретным объектом и условиями их применения.

В рамках текущего переходного состояния производственной системы к цифровой трансформации процессов ее функционирования и повышению ресурсно-эффективной эксплуатации НТТМ технологическое развитие процессов обработки и передачи больших объемов данных позволит интегрировать между собой сложные системы, образуемые в ходе эффективного управления производственной деятельностью. Увеличение единовременно получаемых и накапливаемых объемов данных от НТТМ совместно с данными, объединяющими внешнюю и производственную среду, позволит сформировать системы управления обеспечением производства работ на конкретных объектах автомобильно-дорожного комплекса. Это даст возможность оперативно координировать действия строительной или эксплуатирующей организации в рамках контрактных требований и с учетом любых возможных отклонений внешней среды. При этом на настоящий момент в вопросе применения НТТМ в конкретных эксплуатационных условиях мало уделено внимания роли ее цифрового двойника при обеспечении качества выполнения технологических процессов.

Вышеизложенное позволяет в обобщенном виде утверждать, что обеспечение возможности существенного повышения эффективности управления процессом выполнения строительно-монтажных работ в дорожной отрасли является актуальной народно-хозяйственной проблемой, ее решение способно обеспечить реализацию национального проекта по созданию безопасных и качественных автомобильных дорог по технико-экономическим и социально-экономическим показателям развития в дополнение к решению указанных задач совершенствования методами оптимизации и рационализации парков НТТМ, методов и технологий их ТО и Р с использованием для этого созданного научного потенциала при исследовании двусторонней связи взаимодействия НТТМ с производственной средой в конкретных условиях их эксплуатации.

Диссертационное исследование выполнялось в рамках соглашений на проведение научных исследований с организациями: АО «СМУ-Дондорстрой», ФКУ «Центравтомагистраль», АО «ПО РосДорСтрой», АО «Удмуртавтодор», ООО СПК «Зеленый город», ГП «Дорсервис».

Степень разработанности проблемы. В исследование системы эксплуатации НТТМ большой вклад внесли следующие ученые: В. И. Баловнев, О. А. Бардышев, Н. И. Баурова, Д. П. Волков, Я. В. Васильев, А. А. Воробьев, Н. Г. Гаркави, Н. Ш. Домбровский, В. Н. Добромиров, П. В. Дружинин, С. А. Евтюков, В. А. Жулай, В. А. Зорин, Б. Г. Ким, П. А. Корчагин, П. А. Кравченко, Е. М. Кудрявцев, Е. С. Кузнецов, Н. В. Локшин, И. А. Луйк, С. Е. Максимов, С. К. Полянский, С. В. Репин, Н. С. Севрюгина, Б. Ф. Хазов и другие. Кроме того, зарубежные исследования в области эффективности производственной эксплуатации НТТМ наиболее широко освещены в работах таких ученых, как: Ч. Огльси, Г. Паркер, Р. Банкер, Л. Чао, М. Скибневский, А. Салем, А. Алишибани и Д. Ардити. Однако следует отметить, что анализ их исследований показал, что, несмотря на существенный вклад и значимость уже реализованных научных исследований, имеются противоречия между сложившейся практикой подхода к условиям эксплуатации машин и техническим потенциалом по обеспечению производственного процесса.

Цель диссертационного исследования – разработка научных основ обеспечения требуемой эффективности производственной эксплуатации НТТМ, внедрение которых способно обеспечить выполнение плановых объемов работ с требуемым уровнем качества технологических процессов, реализуемых НТТМ в конкретных условиях применения на объектах автомобильно-дорожного комплекса.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие **задачи исследования**:

1. Разработать теоретическое и методическое обоснования механизма оценки уровня эффективности работы НТТМ по требуемым объемам при их производственной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования по результатам целевого исследования технической, плановой и фактической эксплуатационной производительностей машин.
2. Разработать методы оценки и выбора рационального способа определения эксплуатационной производительности НТТМ на основе коэффициента выбора метода.
3. Создать методы прогнозирования критического снижения/превышения эксплуатационной производительности НТТМ при работе на объектах устойчивого развития на основе исследования функции приращения/убывания.
4. Разработать методы оперативного и долгосрочного прогнозирования основных параметров и уровней состояния системы обеспечения производственной эксплуатации на основе применения математического аппарата нечеткой логики.
5. Разработать концептуальный аппарат представления уровней состояния устойчивости системы обеспечения производственной эксплуатации

НТТМ через взаимосвязь основных ресурс-параметров системы с выполнением работ по строительству, реконструкции, эксплуатации и ремонту автодорог.

6. Осуществить синтез четырехуровневой иерархической адаптивно-последовательной системы управления процессом обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ с вертикальной и горизонтальной интеграцией нечетких составляющих состояния системы их эксплуатации.

7. Разработать комплексный теоретико-методологический подход к интеграции в технологии промышленного интернета вещей (ПИВ) систем управления производственной эксплуатацией НТТМ на конкретных объектах.

Объект исследования. Объектом исследования являются НТТМ для строительства, реконструкции, ремонта и содержания АД общего пользования на конкретных объектах при обеспечении их устойчивого развития.

Предмет исследования. Предметом исследования является управление состоянием системы: объемы работ – производительность – производственная эксплуатация, путем обеспечения ее устойчивости.

Рабочая гипотеза состоит в том, что исследование видов производительности НТТМ и разработка методов прогнозирования и обеспечения требуемых значений ресурс-параметров системы обеспечения производства работ, позволяют реализовать проактивное управление макросостоянием системы с заданной устойчивостью.

Научная новизна исследования:

1. Впервые разработано теоретическое и методическое обоснование механизма оценки уровня эффективности работы НТТМ по требуемым объемам при их производственной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования – по результатам целевого исследования технической, плановой и фактической эксплуатационной производительностей машин.

2. Впервые разработаны методы выбора рационального способа определения эксплуатационной производительности НТТМ на основе коэффициента выбора метода.

3. Впервые созданы методы прогнозирования критического снижения/превышения эксплуатационной производительности НТТМ при работе на объектах устойчивого развития на основе исследования функции приращения/убывания.

4. Впервые разработаны методы оперативного и долгосрочного прогнозирования основных параметров и уровней состояния системы обеспечения производственной эксплуатации на основе применения математического аппарата нечеткой логики.

5. Впервые разработан концептуальный аппарат представления уровней состояния устойчивости системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ через взаимосвязь основных ресурс-параметров

системы с выполнением работ по строительству, реконструкции, эксплуатации и ремонту автомобильных дорог.

6. Впервые осуществлен синтез четырехуровневой иерархической адаптивно-последовательной системы управления процессом обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ с вертикальной и горизонтальной интеграцией нечетких составляющих состояния системы эксплуатации машин.

7. Впервые разработан комплексный теоретико-методологический подход к интеграции в технологии промышленного интернета вещей (ПИВ) систем управления производственной эксплуатацией НТТМ на конкретных объектах.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании теоретических и методологических основ обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ в конкретных условиях их применения на АД, а также в разработке программных и информационных средств, реализующих и отражающих объективные закономерности изменения состояния системы: объемы работ – производительность – производственная эксплуатация.

Практическая значимость работы заключается в полученных результатах исследования, которые могут использоваться при разработке систем управления производственной эксплуатацией НТТМ, а также на уровнях региональной и федеральной власти при повышении качества и эффективности выполнения работ по строительству, реконструкции, эксплуатации и ремонту АД общего пользования.

Методология и методы исследования базируются на глубоком анализе существующих трудов отечественных и зарубежных ученых: системного анализа моделирования рабочих процессов НТТМ с использованием компьютерных и информационных технологий, математического аппарата нечеткой логики, методов математической статистики, нейронных сетей и теории робастного управления состоянием сложных динамических систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретическое и методическое обоснование механизма оценки уровня эффективности работы НТТМ по требуемым объемам при их производственной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования – по результатам целевого исследования технической, плановой и фактической эксплуатационной производительностей машин.

2. Методы выбора рационального способа определения эксплуатационной производительности НТТМ на основе коэффициента выбора метода.

3. Методы прогнозирования критического снижения/превышения эксплуатационной производительности НТТМ при работе на объектах устойчивого развития на основе исследования функции приращения/убывания.

4. Методы оперативного и долгосрочного прогнозирования основных параметров и уровней состояния системы обеспечения производственной эксплуатации на основе применения математического аппарата нечеткой логики.

5. Концептуальная форма представления уровней состояния устойчивости системы обеспечения производственной эксплуатации НТТМ демонстрацией взаимосвязи основных ресурс-параметров системы с выполнением работ по строительству, реконструкции, эксплуатации и ремонту автодорог.

6. Четырехуровневая иерархическая адаптивно-последовательная система управления процессом обеспечения эффективностью производственной эксплуатации НТТМ с вертикальной и горизонтальной интеграцией нечетких составляющих состояния системы эксплуатации машин.

7. Комплексный теоретико-методологический подход к интеграции в технологии промышленного интернета вещей (ПИВ) систем управления производственной эксплуатацией НТТМ на конкретных объектах.

Достоверность и обоснованность результатов, полученных в ходе диссертационного исследования, обеспечиваются применением методов системного анализа, теории моделирования, регрессионного анализа, методов нечеткой логики, линейного программирования, отсутствием противоречий с ранее проводимыми исследованиями другими учеными в области эксплуатации НТТМ, подтверждены публикациями в рецензируемых изданиях ВАК РФ и в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и WoS, обеспечиваются целью и задачами исследования, апробированными общенаучными методами их решений, полученными теоретическими и практическими результатами исследований, а также широким их представлением и обсуждением в среде научной общественности на отечественных и зарубежных конференциях.

Апробация работы. Результаты и основные положения диссертации были представлены и обсуждались на конференциях, таких как: III Всероссийская научно-практическая конференция «Магистерские слушания», 25–26 октября 2018 г.; межвузовский научный круглый стол «Повышение эффективности применения и безопасности работы транспортно-технологических машин», 15.05.2019 г.; Международная научно-техническая конференция, посвященная 90-летию со дня основания кафедры «Тракторы и автомобили», СПбГАУ, 25–26 марта 2021 г.; XVI Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств», Саратовский ГТУ им. Ю. А. Гагарина, 16.04.2021 г.; VII Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орловский ГУ имени И. С. Тургенева, 17–20 мая 2021 г.; Международная научно-практическая конференция

«Автомобиле- и тракторостроение», Белорусский НТУ, 25–28 мая 2021 г.; Международная конференция «Транспортная доступность Арктики: Сети и системы», 2–4 июня 2021 г.; XXX Российско-польско-словацкий семинар «Теоретические основы строительства», 13–18 сентября 2021 г.; XXXVI Национальная (с международным участием) научно-техническая конференция «Улучшение эксплуатационных показателей и технический сервис автомобилей, тракторов и двигателей», посвященная 95-летию со дня рождения ученых СПбГАУ А. В. Николаенко, В. В. Буркова, В. М. Кряжкова, СПбГАУ, 23–24 марта 2023 г.

Реализация результатов исследования. Результаты проведенных научных исследований были внедрены в АО «ПО РосДорСтрой», ФКУ «Упрдор «Россия», ООО «Лидер-Строй», ООО СПК «Зеленый город», АО «Удмуртавтодор» и ГП «Дорсервис». Полученные результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», ФГБОУ ВО «Воронежский ГУ», ФГБОУ ВО «Тюменский ИУ», ФГБОУ ВО «СПбГАУ» при обучении студентов и аспирантов по направлениям подготовки: «Наземные транспортно-технологические средства» (23.05.01), «Наземные транспортно-технологические комплексы» (23.04.02), «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (23.03.03, 23.04.03).

Информационная база исследования основана на законодательной и нормативно-правовой базе, статистических материалах и результатах мониторинга эксплуатации НТТМ, а также научных трудах отечественных и зарубежных ученых в области эксплуатации машин, синтеза систем управления и робастной устойчивости.

Личный вклад автора обосновывается сформулированными автором целью и задачами выполненных исследований (теоретических и экспериментальных), в рамках которых полученные результаты обеспечивают эффективность производственной эксплуатации машин, а также заключается в теоретическом обосновании, разработке и реализации комплекса методик обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ, алгоритмов их практического применения, концептуальными предложениями по реализации теоретических и технических основ по интеграции систем обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ через технологии ПИВ на конкретных объектах.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы: п. 3 «Экспериментальные исследования и испытания транспортно-технологических средств и их комплексов, а также отдельных систем, агрегатов, узлов, деталей и технологического оборудования», п. 4 «Техническая эксплуатация транспортно-технологических средств и их комплексов», п. 6 «Оптимизация конструкций и синтез законов управления

движением наземных транспортно-технологических средств и их комплексов, а также их отдельных функциональных узлов, механизмов и систем, направленных на улучшение экономичности, надежности, производительности, экологичности и эргономичности, технологической производительности, обеспечение энергоэффективности и безопасности».

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 76 публикациях, включающих 17 публикаций в изданиях ВАК, 4 публикации в изданиях Scopus и Web of Sciences, 1 монографию, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и 13 авторских свидетельств на полезные модели. Общий объем научных работ составляет 50,4 п.л. (авторских 33,9 п.л.).

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержит 395 страниц текста, включающих 79 таблиц и 202 иллюстрации, а также 8 приложений на 116 страницах. Список литературы включает 238 наименований.

Во **введении** представлено исследуемое в рамках настоящей диссертационной работы описание народно-хозяйственной проблемы. Приведено обоснование актуальности исследования проблем (вопросов), касающихся эксплуатации НТТМ при производстве комплекса работ на АД общего пользования, сформулированы цель и задачи, а также изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимости. Кратко сформулированы и освещены основные положения диссертационной работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, а также сообщены сведения, касающиеся апробации работы и реализации полученных научных результатов.

В **первой главе** проведен подробный анализ вопроса научных исследований, связанных с производственной эксплуатацией НТТМ относительно строительства, реконструкции, эксплуатации и ремонта АД, а также с производственной эксплуатацией машин в других областях. Сформулированы теоретические основы композиции методологии обеспечения и управления состоянием системы «объемы работ – производительность – производственная эксплуатация». Определена онтология предметной области исследования.

Во **второй главе** выполнен анализ функционала систем мониторинга и накопления данных об эксплуатации НТТМ, изложены перспективы их развития на основе технологий ПИВ, а также предлагаемая концепция управления обеспечением производства работ в условиях роста объемов цифровизации процессов.

В **третьей главе** изложен экспериментальный анализ изменения технической, эксплуатационной плановой, фактической и расчетной производительностей на дискретных временных рядах на объектах в Нижегородской, Ленинградской и Московской областях РФ, а также в Санкт-Петербурге.

В *четвертой главе* представлены графоаналитические методы анализа динамики потока данных с разрывами на дискретных временных рядах по производительности, а также изложены методы прогнозирования системной динамики на основе контроля изменений эксплуатационной фактической производительности и разработан метод определения уровней состояния системы обеспечения производства работ.

В *пятой главе* обоснован выбор иерархии систем управления и ресурс-параметров их обеспечения при выполнении плановых объемов работ с требуемым уровнем качества технологических процессов, реализуемых НТТМ в конкретных условиях, что с учетом предложенной концепции позволяет обеспечить устойчивость развития объектов автомобильно-дорожного комплекса. Разработан математический аппарат конвейерно-адаптивной системы управления с нечеткими составляющими с оценкой робастной устойчивости по критерию Михайлова.

В *заключении* приведены основные научные и практические результаты исследований, изложены рекомендации по применению и дальнейшему развитию разработанных научных основ обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ.

В *приложениях* приведены сводные данные по экспериментальным исследованиям, примеры практической реализации, исходный код основной части программы, а также акты внедрения и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Теоретическое и методическое обоснование механизма оценки уровня эффективности работы НТТМ по требуемым объемам при их производственной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования на основе результатов целевого исследования технической, плановой и фактической эксплуатационной производительностей машин. Исследование опиралось на результаты экспериментальных наблюдений за эксплуатацией НТТМ (на базе интегрированных систем мониторинга), при этом НТТМ, участвовавшие в эксперименте, работали на АД федерального значения в четырех регионах РФ: Нижегородской области, Московской области, Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Из общего массива экспериментальных исследований было выделено шесть основных функциональных групп НТТМ.

По мере накопления мониторинговых данных по всем НТТМ в выборке регистрация средних значений часовой плановой и фактической эксплуатационной производительности НТТМ (соответственно: $P_{\text{ЭП}}$ и $P_{\text{ЭФ}}$) по дням в указанный период была единообразно представлена графиками (рис. 1–3) для девяти выбранных НТТМ (три функциональные группы, включая три возрастные подгруппы) из участвующих.

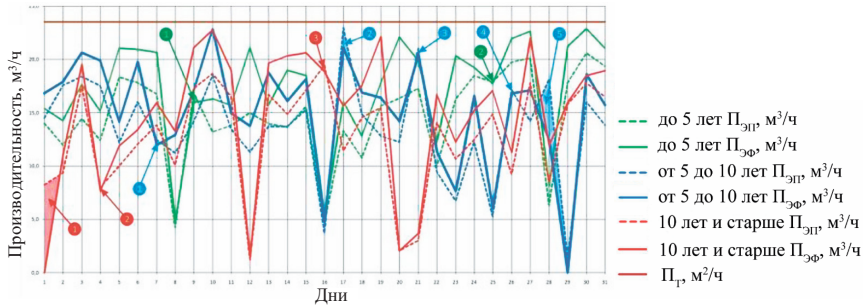


Рис. 1. Накопленные в ходе мониторинга данные по $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$ экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3CX (VII месяц)

На данных графиках цвет линий отражает возрастные группы НТТМ: зеленого цвета – первая группа, машины до 5 лет, синего цвета – вторая группа, машины от 5 до 10 лет, красного цвета – третья группа, машины 10 лет и старше. Сплошными линиями показано изменение $\Pi_{ЭФ}$, и, соответственно, пунктирно-точеными линиями – изменение $\Pi_{ЭП}$.

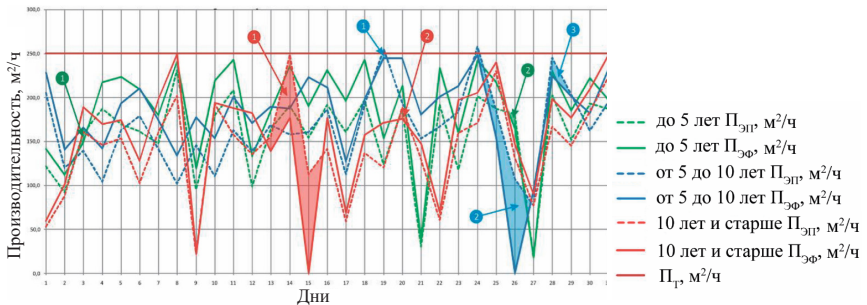


Рис. 2. Накопленные в ходе мониторинга данные по $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$ асфальтоукладчиков марки Volvo ABG P682OC (VII месяц) до 5 лет

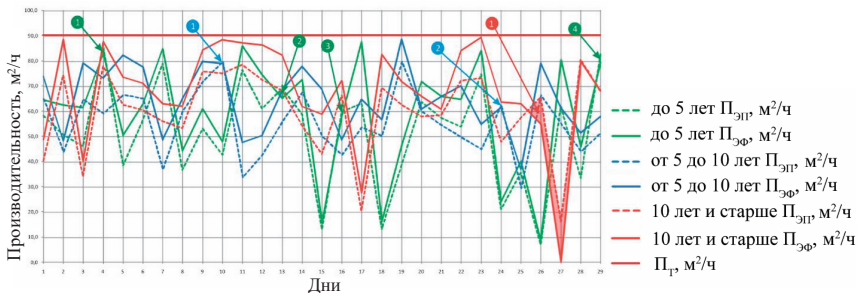


Рис. 3. Накопленные в ходе мониторинга данные по $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$ машин для содержания АД на базе КамАЗ 65115 (II месяц)

При анализе накапливаемых данных были получены фактические коэффициенты выполнения работ ($K_{\text{ВР}}$) и реализации технического потенциала НТТМ ($K_{\text{РТП}}$). На рис. 4 представлена круговая диаграмма полученных значений $K_{\text{ВР}}$ и $K_{\text{РТП}}$ экскаватора-погрузчика марки JCB 3CX.

Путем интегрирования объемов работ (плановых и фактических), выявление значений эксплуатационной производительности НТТМ позволяет непосредственно получить плановые и фактические значения в течение разных необходимых периодов времени, что позволяет повысить точность определяемых значений. Это обосновывается тем, что исходными данными при этом являются плановые и фактические объемы работ, т. е., главное предназначение рассматриваемых НТТМ.

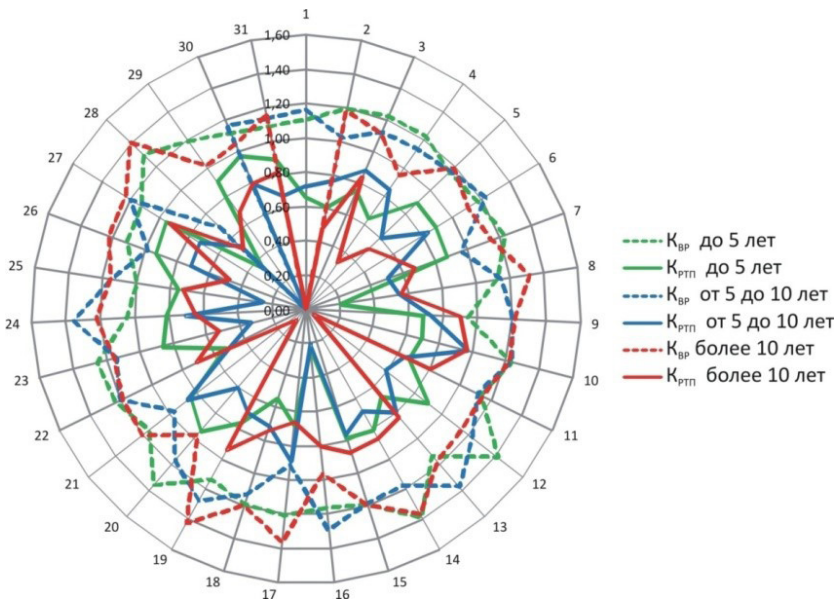


Рис. 4. Круговая диаграмма значений $K_{\text{ВР}}$ и $K_{\text{РТП}}$

Существенные временные затраты и необходимый высокий уровень специалистов, являются недостатками данного способа, которые могут быть разрешены только при применении, развитии и совершенствовании технологий 5G, BigDataMining и ПИВ, в том числе за счет увеличения объема и скорости передачи данных (оперативной фактической информации о состоянии НТТМ и состоянии производственной среды).

2. Методы выбора рационального способа определения эксплуатационной производительности НТТМ на основе коэффициента выбора метода. При определении эксплуатационной производительности

выбранных НТТМ можно определить коэффициент выбора метода эксплуатационной расчетной ($\Pi_{ЭР}$) и фактической ($\Pi_{ЭФ}$) производительности выбранных НТТМ за рассматриваемый период и проанализировать полученные значения. Суточный коэффициент выбора метода для каждой j -й выбранной НТТМ – $k_{ВМj}$ был определен как соотношение

$$k_{ВМj} = \Pi_{ЭРj} / \Pi_{ЭФj}. \quad (1)$$

На рис. 5–7 показано изменение $\Pi_{ЭР}$ и $\Pi_{ЭФ}$ трех функциональных групп НТТМ, включая три возрастные подгруппы, участвующие в эксперименте.

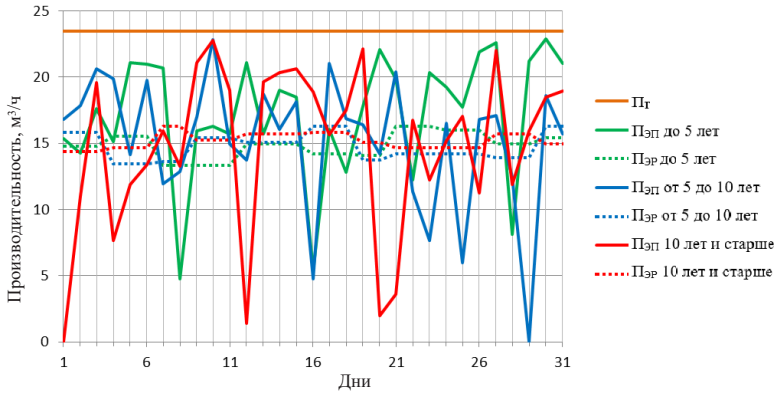


Рис. 5. Накопленные данные по $\Pi_{ЭП}$, $\Pi_{ЭР}$ и $\Pi_{Т}$ экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3CX

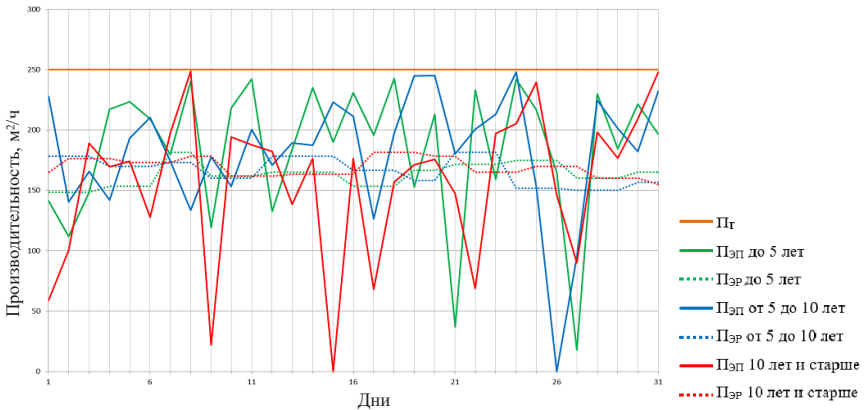


Рис. 6. Накопленные данные по $\Pi_{ЭП}$, $\Pi_{ЭР}$ и $\Pi_{Т}$ асфальтоукладчиков Volvo ABG P682OC

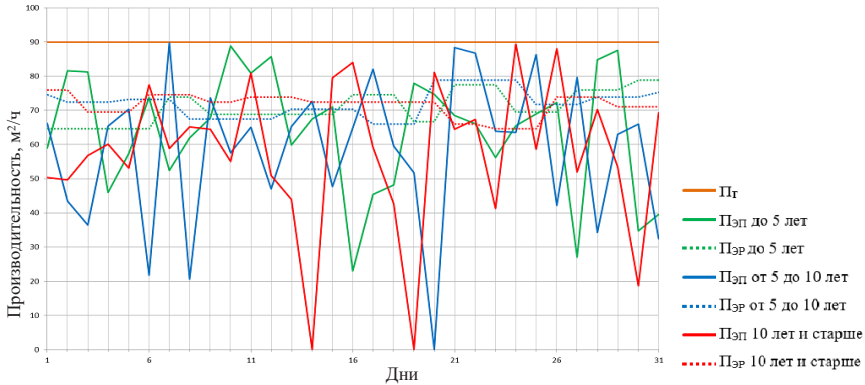


Рис. 7. Накопленные данные по $P_{ЭП}$, $P_{ЭР}$ и P_T машин для содержания АД на базе КамАЗ 65115

В табл. 1 приведены значения k_{BMj} , определенные для представленных НТТМ по рис. 1–3. Анализ полученных значений коэффициента выбора метода k_{BMj} за месяц работы НТТМ позволил сделать следующие выводы:

- 1) при $k_{BMj} < 1$ эксплуатационную производительность следует устанавливать экспериментальным путем;
- 2) если $k_{BMj} > 1$, эксплуатационную производительность следует устанавливать расчетным путем по известным зависимостям;
- 3) при $k_{BMj} = 1$ условная «идеальная» ситуация, при которой будет иметь место выполнение суточного объема работ по плану производства.

Таблица 1

Значения k_{BMj} представленных для примера НТТМ на рис. 1–3 за первую неделю месяца

Марка машины	Возрастная группа	Число месяца						
		1	2	3	4	5	6	7
JCB 3CX	k_{BMj} до 5 лет	0,96	1,04	0,84	1,03	0,74	0,74	0,64
	k_{BMj} от 5 до 10 лет	0,94	0,89	0,77	0,68	0,95	0,68	1,14
	k_{BMj} 10 лет и старше	0	1,31	0,73	1,92	1,23	1,1	1,02
Volvo ABG P682OC	k_{BMj} до 5 лет	1,05	1,33	1	0,71	0,69	0,73	1,01
	k_{BMj} от 5 до 10 лет	0,78	1,27	1,08	1,2	0,88	0,81	0,99
	k_{BMj} 10 лет и старше	2,79	1,76	0,93	1,04	0,99	1,36	0,88

Марка машины	Возрастная группа	Число месяца						
		1	2	3	4	5	6	7
КамАЗ 65115	k_{BMj} до 5 лет	1,09	0,79	0,79	1,4	1,13	0,87	1,41
	k_{BMj} от 5 до 10 лет	1,13	1,67	1,98	1,11	1,04	3,36	0,82
	k_{BMj} 10 лет и старше	1,51	1,53	1,22	1,16	1,31	0,96	1,27

4) Было установлено, что в случаях, когда $P_{\text{эп}} \approx P_{\text{эф}}$, эффективность способа определения $P_{\text{эф}}$ расчетным путем выше экспериментального способа и, соответственно, в противном случае, эффективность способа определения $P_{\text{эф}}$ экспериментальным путем выше расчетного способа. Кроме того, было установлено, что предложенный метод на практике позволяет более точно планировать и анализировать работу НТТМ на конкретных объектах.

3. Методы прогнозирования критического снижения/превышения эксплуатационной производительности НТТМ при работе на объектах устойчивого развития на основе исследования функции приращения/убывания. Под критическим снижением (КС) фактической эксплуатационной производительности НТТМ следует рассматривать ситуацию, при которой суточное среднее часовое значение эксплуатационной фактической производительности находится ниже аналогичного планового значения производительности НТТМ. Пограничный переход в критическую ситуацию, при которой фактические и плановые значения эксплуатационной производительности максимально близки друг к другу, представляют большой научный интерес. Такие места можно выявлять как графическим, так и математическим путями (способами). Установление на полученных в ходе наблюдений по графикам (рис. 1–3) мест КС является графическим способом. На рис. 1–3 места пересечений, указывающих на КС, обозначены выносками соответствующего цвета.

Математический способ сводится к определению значений коэффициента выполнения объемов работ ($K_{\text{вр}}$). При возникновении КС значение $K_{\text{вр}} < 1$.

В ходе анализа результатов мониторинга были установлены три возможных сценария возникновения КС. Данные сценарии представлены на рис. 8.

Соответственно, критическое повышение (КП) фактической эксплуатационной производительности НТТМ – это оперативная ситуация, при которой суточное значение $P_{\text{эф}}$ становится выше значений $P_{\text{эп}}$ на 25 %. Было обосновано, что КП следует считать $K_{\text{вр}} > 1,25$.

Аналогично анализ полученных результатов позволил выявить три возможных сценария возникновения КП. Данные результаты для КП представлены на рис. 9.

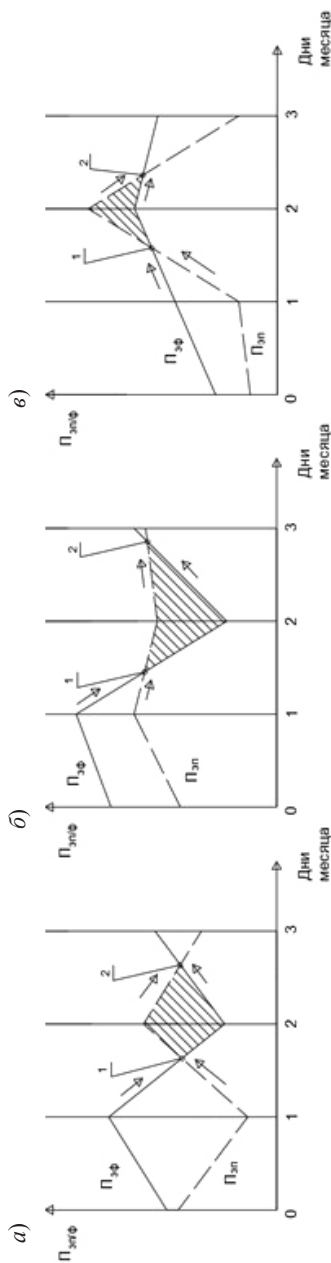


Рис. 8. Сценарии возникновения критического снижения: а – рост $P_{эф}$, убывание $P_{эф}$; б – убывание $P_{эф}$ и $P_{эф}$; в – рост $P_{эф}$ и $P_{эф}$; — невыполненная эксплуатационная производительность НТМ; 1, 2 – соответственно начало и конец участков невыполнения требуемых объемов работ

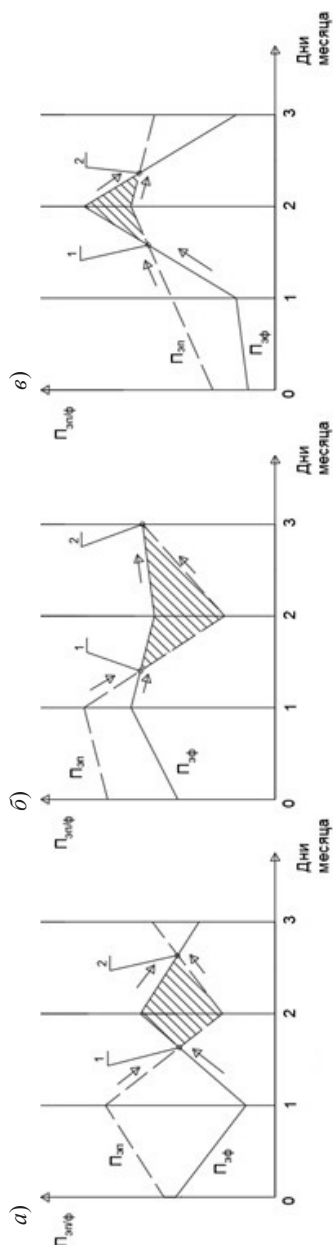


Рис. 9. Сценарии возникновения критического превышения: а – рост $P_{эф}$, убывание $P_{эф}$ и $P_{эф}$; б – убывание $P_{эф}$ и $P_{эф}$; в – рост $P_{эф}$ и $P_{эф}$; — перевыполненная эксплуатационная производительность НТМ; 1, 2 – соответственно начало и конец участков перевыполнения требуемых объемов работ

Прогнозирование критического снижения или превышения эксплуатационной фактической производительности выбранных НТТМ возможно, например, путем исследования скорости возрастания или убывания функции полученных ранее суточных значений $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$ в рассматриваемом периоде. На рис. 10 представлен график разницы значений $\Pi_{ЭФ}$ и $\Pi_{ЭП}$ (сплошные линии) на примере для асфальтоукладчиков Volvo ABG P682OC (трех возрастных подгрупп), а также полученные значение первой производной (пунктирные линии) от $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$. На рис. 11 места, где имело место КС или КП, отмечены 1, 2, 3.

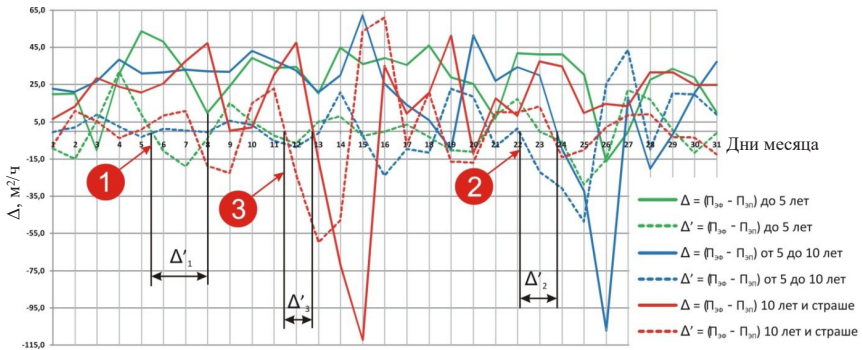


Рис. 10. Пример анализа разницы значений $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$ для асфальтоукладчиков марки Volvo ABG P682OC: 1–3 – моменты краткосрочного прогнозирования КС

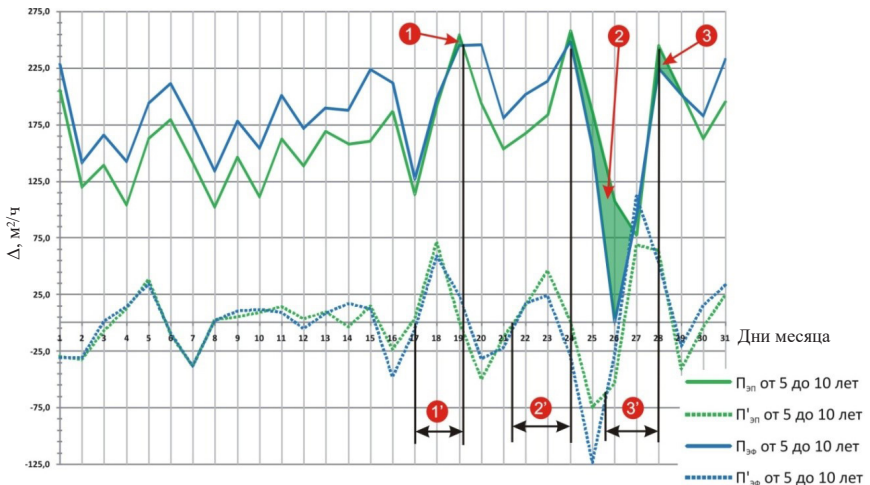


Рис. 11. Пример анализа скорости возрастания или убывания функции полученных ранее $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$ для вышеуказанного асфальтоукладчика второй возрастной подгруппы: 1–3 – моменты установления невыполнения требуемых объемов работ за 2–3 дня до факта наступления события

На основании проведенного исследования был сделан вывод, что применение второго способа является рациональным для задач краткосрочного прогнозирования изменения $\Pi_{ЭП}$ и $\Pi_{ЭФ}$.

В связи с вышеизложенным было выполнено исследование и определены параметры надежности выбранных НТТМ с учетом неплановых ремонтов (НР), а также определены коэффициенты оперативного технического использования и готовности выбранных НТТМ. В рамках этой части исследования коэффициент технической готовности (K'_T) был определен двумя способами: первый способ – по наработке НТТМ в течение срока службы вместе с коэффициентом старения графически-математически; второй способ – по уточненным математическим зависимостям. Определенный коэффициент оперативной технической готовности ($K_{ОГ}$) определяет безотказную работу НТТМ в заданный интервал времени с учетом НР.

Методический подход первого способа основан на том, что снижение наработки НТТМ в зависимости от срока службы осуществляется по экспоненциальному закону. Далее при построении линии тренда по экспоненциальному закону получаемая математическая зависимость представляет собой коэффициент технической готовности, а значение степени – коэффициент старения по наработке НТТМ.

На рис. 12 представлен график и регрессионная зависимость снижения рыночной годовой наработки бульдозера марки ДСТ Урал ТМ 10 ГСТ 10 за срок службы машины.

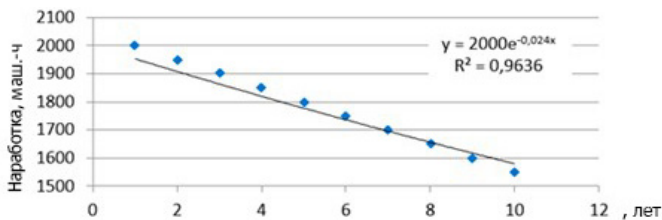


Рис. 12. График снижения годовой наработки бульдозера марки ДСТ Урал ТМ 10 ГСТ 10 от срока службы машины

В уравнении, показанном на рис. 12, коэффициент реализации технического потенциала ($K_{РТП}$) представляет собой следующее значение: $K_{РТП} = e^{-0,024}$, где число $(-0,024)$ является коэффициентом старения (K_C) конкретной машины по наработке в течение ее срока службы.

Методический подход второго способа заключается в определении по уточненным математическим зависимостям коэффициентов технической готовности (K'_T), технического использования ($K'_{ТИ}$) и оперативной готовности ($K_{ОГ}$). Данные зависимости (2)–(5) приведены ниже. Расчет по данным зависимостям был автоматизирован в среде MS Excel.

Коэффициент технической готовности НТТМ определяется по формуле

$$K'_Г = \frac{T_{PP}}{T_{PP} + T_{РНН}}, \quad (2)$$

где T_{PP} – время пребывания НТТМ в работоспособном состоянии в рассматриваемый период; $T_{РНН}$ – время пребывания НТТМ в НР в рассматриваемый период.

Коэффициент технического использования НТТМ – $K'_{ТИ}$ определяется по формуле

$$K'_{ТИ} = \frac{T_{PP}}{T_{PP} + T_{РНН} + T_{РНП}}, \quad (3)$$

где $T_{РНП}$ – расчетное время простоев НТТМ в плановых ТО и ремонтах в рассматриваемый период.

Коэффициент оперативной технической готовности НТТМ – $K_{ОГ}$ определяется по формуле

$$K_{ОГ} = K'_Г \cdot P(t, \Delta t), \quad (4)$$

где $P(t, \Delta t)$ – вероятность безотказной работы НТТМ по внезапным отказам, определяемая по формуле

$$P(t, \Delta t) = \exp^{-\lambda t}, \quad (5)$$

где λ – интенсивность отказов, $ч^{-1}$; t – время работы НТТМ, ч.

Значения определенных по уточненным зависимостям (второй способ) $K_{ОГ}$ на примере экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3СХ трех возрастных групп приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения определенных по уточненным зависимостям $K_{ОГ}$

№ п/п	Год службы	Общий годовой фонд рабочего времени, T_p , ч	Расчетное время простоев в плановых ТОиР, $T_{РНП}$, ч	Годовой фонд рабочего времени; $T_r = (T_p - T_{РНП})$, ч	$T_{РНН}$ – время НР, ч	Время пребывания в работоспособном состоянии; $T_{PP} = T_r - T_{РНН} - T_{РНП}$, ч	$K'_Г$	$K'_{ТИ}$	$K_{ОГ}$		
									1 см	2 см	3 см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	5848	24	5824	24	5800	0,996	0,992	0,919	0,849	0,783

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	6	5696	24	5672	48	5624	0,992	0,987	0,872	0,768	0,675
3	11	5560	24	5536	80	5456	0,986	0,981	0,813	0,671	0,554

Исследование позволило установить, что способ расчета по производительности НТТМ является универсальным. При этом он применим как для предприятий, сдающих НТТМ в аренду, так и для подрядных организаций, осуществляющих эксплуатацию своих машин на конкретных объектах.

4. Методы оперативного и долгосрочного прогнозирования основных параметров и уровней состояния системы обеспечения производственной эксплуатации на основе применения математического аппарата нечеткой логики. Следует отметить, что накопление мониторинговых данных, используемых в работе, фактически представлено длинными временными рядами с большим количеством случайных переменных, которые малопригодны для регрессионного анализа. Поэтому в данной ситуации при прогнозировании параметров системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ целесообразно применять методы, позволяющие аккумулировать и обрабатывать не только большие объемы статистических данных, накапливаемые в процессе мониторинга работы НТТМ на объекте (передаваемых в ближайшей перспективе через ПИВ), но и весь имеющийся практический и научный потенциал по данному вопросу.

Определение параметров системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ является задачей трудно формализуемой и многофакторной. Поэтому для установления связи между параметрами системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ и ее критериями целесообразно использовать методы, основанные на математическом аппарате нечеткой логики, что позволит использовать гибридизацию неоднородных данных, накапливаемых на этапе производственной эксплуатации машин. В общем виде прогнозирование состояний системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ может быть реализовано на основе применения нечеткого логического вывода (НЛВ) к накапливаемой эксплуатационной информации, при этом архитектура системы прогнозирования должна быть масштабируемой при увеличении объема данных (информации).

На рис. 13 приведена концептуальная схема экспериментально-статистической оценки определения интегральных параметров системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ с применением методов НЛВ.

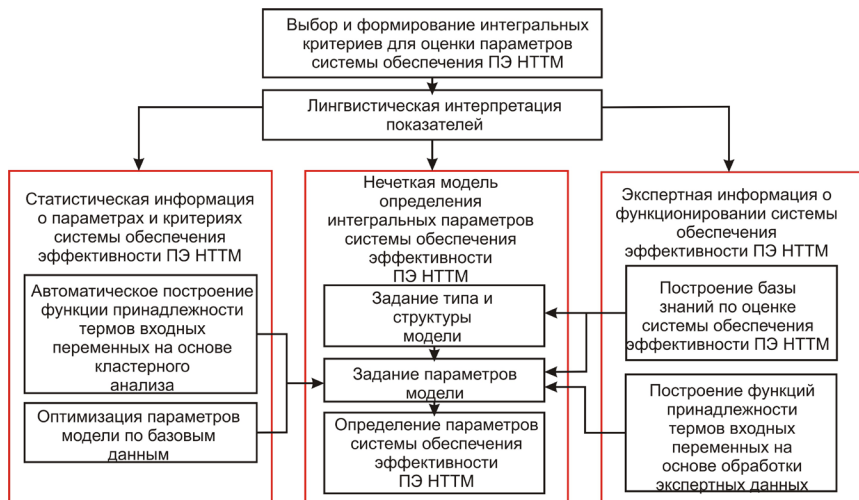


Рис. 13. Концептуальная схема экспериментально-статистической оценки определения интегральных параметров СОЭПЭНТТМ с применением методов НЛВ

Были рассмотрены и обоснованы основные производственные параметры, которые определяют работу НТТМ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании АД, а также критерии их оценки. В частности, к таким параметрам можно отнести: фактические объемы выполняемых НТТМ работ за сутки (Q_{Φ}); часовое значение эксплуатационной фактической производительности НТТМ за сутки ($\Pi_{\Phi\Phi}$); коэффициент выполнения объемов работ НТТМ (K_{BP}); коэффициент реализации технического потенциала НТТМ ($K_{PTП}$); коэффициент выбора метода (K_{BM}). Также были рассмотрены и обоснованы основные показатели оценки параметров прогнозирования системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ, а именно лингвистические переменные входов: X_1 – выполнение объемов работ в сутки; X_2 – государственная приемка работ за сутки; X_3 – влияние погодных условий на выполнение планов работ; X_4 – вероятность безотказной работы; X_5 – наличие отказов за сутки; X_6 – время устранения отказов; X_7 – время работы НТТМ за сутки; X_8 – наработка машины за сутки; X_9 – возрастная группа; X_{10} – сезонные изменения. Значения параметров и критерии их оценки были сведены в специальные таблицы-матрицы.

Относительно нечетких множеств, образуемых возможными соотношениями $Z_i = \{Q_{\Phi}, \Pi_{\Phi\Phi}, K_{BP}, K_{PTП}, K_{BM}\}$, были введены 19 нечетких множеств, связанных с лингвистической переменной входов $X_1 \dots X_{10}$. Термы входных переменных представлены следующим образом.

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \begin{cases} V, \mu_{1.1}(v) \\ V, \mu_{1.2}(v) \\ V, \mu_{1.3}(v) \end{cases} & X_6 &= \begin{cases} T, \mu_{6.1}(t) \\ T, \mu_{6.2}(t) \\ T, \mu_{6.3}(t) \end{cases} \\
 X_2 &= \{R, \mu_2(r)\} & X_7 &= \{C, \mu_7(c)\} \\
 X_3 &= \begin{cases} U, \mu_{3.1}(u) \\ U, \mu_{3.2}(u) \\ U, \mu_{3.3}(u) \\ U, \mu_{3.4}(u) \end{cases} & X_8 &= \begin{cases} N, \mu_{8.1}(n) \\ N, \mu_{8.2}(n) \\ N, \mu_{8.3}(n) \end{cases} \\
 X_4 &= \{P, \mu_4(p)\} & X_9 &= \{B, \mu_9(b)\} \\
 X_5 &= \{O, \mu_5(o)\} & X_{10} &= \{M, \mu_{10}(m)\}
 \end{aligned} \tag{6}$$

При этом их функции принадлежности $\mu_i(i)$ показаны на рис. 14.

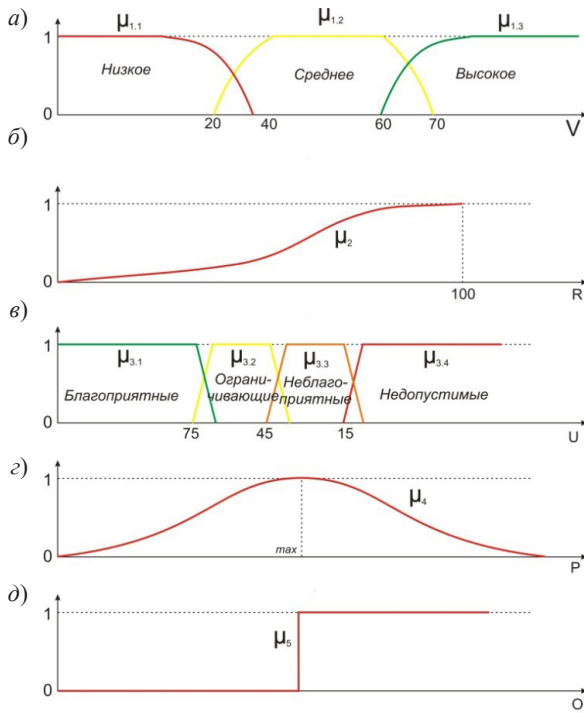


Рис. 14, начало. Функции принадлежности входных переменных: а – выполнение объема работ за сутки; б – приемка работ за сутки; в – погодные условия на момент выполнения плана; г – вероятность отказов за смену; д – наличие отказов за сутки

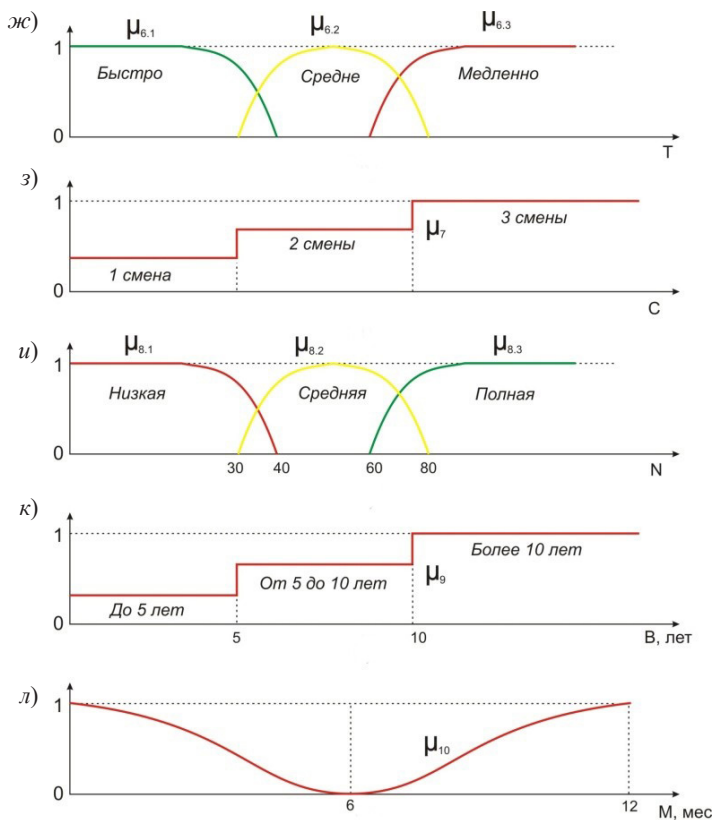


Рис. 14, продолжение: ж – время устранения отказов; з – время работы за сутки; и – наработка машины за сутки; к – возрастная группа; л – сезонные изменения

Были введены нечеткие множества, связанные с выходной переменной «Состояние системы обеспечения производственной эксплуатации НТТМ». Для входной переменной были определены следующие возможные состояния (уровни) системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ (выходы):

- $W_1 = \{Z_1, \mu_{w1}(z)\}$ – максимально обеспеченное, с ресурсом;
- $W_2 = \{Z_2, \mu_{w2}(z)\}$ – номинальное, с остаточным ресурсом;
- $W_3 = \{Z_3, \mu_{w3}(z)\}$ – необеспеченное, с остаточным ресурсом;
- $W_4 = \{Z_4, \mu_{w4}(z)\}$ – недопустимое, без ресурса.

Была сформирована база выходов, состоящая из 68 правил, при этом полученным правилам будет соответствовать группа нечетких событий:

$$S_{i,l} = 1, \dots, 68, \{S_i\} = \{S_i(W_1, W_2)\} \cup \{S_i(W_3, W_4)\}, \quad (7)$$

где W_1 , W_2 соответствуют работоспособным состояниям системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации (СОЭПЭ), а W_3 , W_4 – состояниям отказа СОЭПЭ.

В этом случае, для оценки вероятностей нечетких состояний, применена формула

$$\sum P(W_1, W_2, W_3, W_4) = \sum P(W_1, W_2) + \sum P(W_3, W_4) = 1. \quad (8)$$

В работе показано, что для решения задачи прогнозирования допустимого состояния СОЭПЭ НТТМ формулу (7) следует представить в следующем виде:

$$1 - \sum P(W_3, W_4) = \sum P(W_1, W_2). \quad (9)$$

Фактически формула представляет собой нечеткую оценку безотказности СОЭПЭ НТТМ.

На практике вышеизложенный метод работает следующим образом. Сформированная на базе MatLAB программа анализирует входные термы, которые состоят из обучающих систему параметров и их критериев, которые вводятся с помощью специальных таблиц-матриц. Далее, после построения функций принадлежности входных термов (рис. 14), программа осуществляет «обучение» системы с учетом функций принадлежности входных термов и 68 правил выходов системы и выдает значения прогнозируемых параметров с учетом входных термов, в которых находятся значения заданных критериев оценки параметров системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ. Таким образом, образуются выходные термы. Результаты прогнозируемых параметров, а также уровни состояния системы (W) можно свести в таблицы по дням работы НТТМ на конкретных объектах (табл. 3).

Пример графического представления результатов прогнозирования за один день работы по табл. 3 показан на рис. 15.

В данном примере коэффициент детерминации модели, рассчитанный по выходной переменной W_1 , равен $R^2 = 0,91$; он статистически значим, уровень значимости 0,09. Большое значение коэффициента множественной корреляции свидетельствует о том, что вариация уровня состояния W_1 в обучающей выборке на 91 % определяется вариацией входных переменных $X_1 - X_{10}$.

Из анализа аналогов, приведенного в табл. 3 и показанного на рис. 15, в рамках исследования, включавшего в себя практическое применение прогнозирования на два месяца, было также получено, что разброс прогнозируемых и фактических значений параметров системы обеспечения эффективности производства работ НТТМ составляет не более $(3 \div 6) \%$, что свидетельствует о хорошей сходимости результатов.

Таблица 3

Определенные в ходе реализации предложенного подхода к методам НЛВ прогнозируемые параметры (Q_{Φ} , Π_{Φ} , K_{BP} , $K_{РТП}$, K_B) и уровень состояния (W) СОЭПЭ НТТМ за день работы экскаватора погрузчика марки JCB 3СХ первой возрастной группы

№ п/п	Параметры	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	W
Прогнозирование НЛВ												
1	$Q_{\Phi} = 90 \text{ м}^3$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	W_1
2	$\Pi_{\Phi} = 11 \text{ м}^3/\text{ч}$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	
3	$K_{BP} = 1,1$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	
4	$K_{PTH} = 0,5$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	
5	$K_B = 1,1$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	
Фактические значения												
1	$Q_{\Phi} = 94 \text{ м}^3$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	W_1
2	$\Pi_{\Phi} = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	
3	$K_{BP} = 1,1$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	
4	$K_{PTH} = 0,5$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	
5	$K_B = 1,1$	1	1	0,7	0,8	1	0	0,4	0,7	1	0,5	

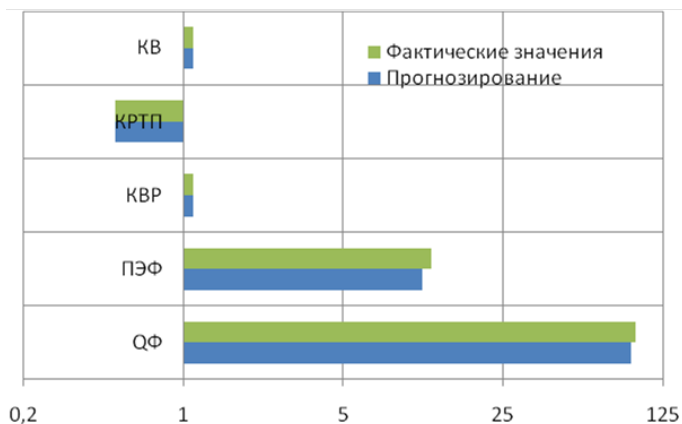


Рис. 15. Результаты прогнозирования по примеру в табл. 3

Приведенная методика прогнозирования, реализованная на основе методов НЛВ и нейронных сетей (НС), позволяет оценивать состояние контролируемой системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации удаленно, только на основе накапливаемых объемов данных, что является актуальным в связи с развитием технологий ПИВ и BigDataMining (с передачей в стандарте сетей 5G). На основе приведенного подхода также возможно реализовать активный контроль состояния и качества выполнения технологических процессов и систему поддержки принятия решений.

5. Концептуальная форма представления уровней состояния устойчивости системы обеспечения производственной эксплуатации НТТМ демонстрацией взаимосвязи основных ресурс-параметров системы с выполнением работ по строительству, реконструкции, эксплуатации и ремонту автодорог. Определяя структуру двусторонних связей по объему работ между строительством, реконструкцией, ремонтом и содержанием АД и производственной эксплуатацией НТТМ при применении, развитии и совершенствовании технологий, обеспечивающих существенный рост объема и скорости транспорта данных (информации), в рамках постепенного перехода киберфизических интерфейсов от первого поколения до третьего, а именно, в частности, за счет увеличения качества и количества пакетной передачи данных по технологии 5G внутри промышленного интернета вещей (ПИВ), следует отметить, что со стороны НТТМ эта связь определяется всеми вышеизложенными производственными ресурс-параметрами.

В настоящий момент объемы данных о состоянии вышеуказанных связей лишь частично охватывают производственную среду и очень мало пересекаются между собой, что позволяет на настоящий момент представить их только облачными ресурсами, с малой взаимной интеграцией. Концептуальный предполагаемый переход состояний (с учетом смены поколений киберфизических интерфейсов и полной интеграции облаков данных в единое информационное пространство производства работ на АД общего пользования) показан на рис. 16.

Представленное концептуальное отображение уровней состояния устойчивости СОЭПЭ через взаимосвязь основных ресурс-параметров системы: производственного, технического (надежности) и технико-экономического и с ресурс-параметрами в рассматриваемых работах на АД – объединяет в производственной среде сразу три основные тенденции развития, которые можно объединить в понятия «Умная дорога», «Умное предприятие» и цифровой двойник НТТМ.

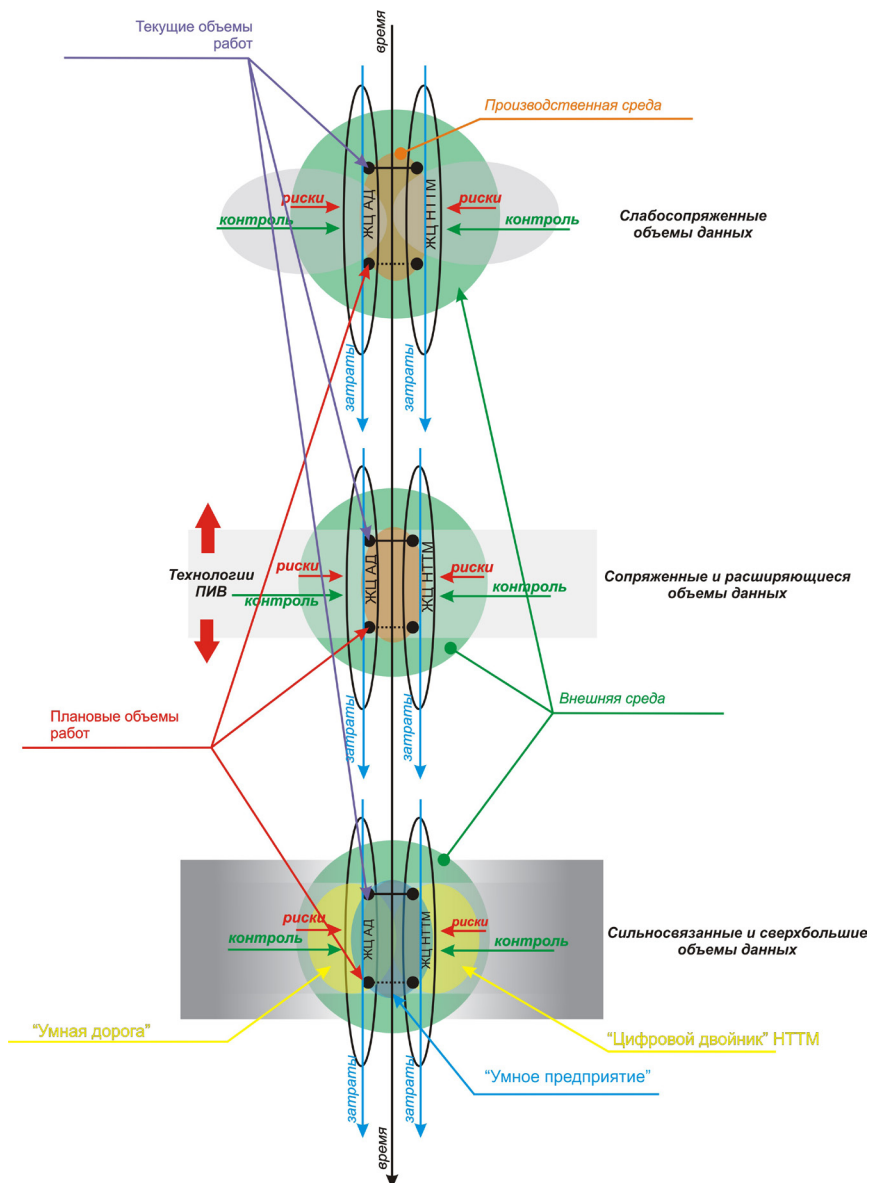


Рис. 16. Концепция перехода состояний

При этом при осуществлении выполнения работ с применением НТТМ на АД общего пользования с учетом вышеизложенного допустимо определить «умное предприятие» как предприятие, на котором киберфизические интерфейсы интегрированы и передают данные внутри ПИВ, при этом машины работают на основе информации, поступающей как из физического, так и из виртуального мира, где, соответственно, информация физического мира – это текущие данные о состоянии рабочего процесса, самой НТТМ, состоянии внешней среды и т. д., т. е. все то, что находится под контролем развитых систем мониторинга и диагностики. Следовательно, информация виртуального мира – это цифровой двойник, BIM-данные дороги и инженерных сооружений на них, имитационные модели и т. д.

6. Четырехуровневая иерархическая адаптивно-последовательная система управления процессом обеспечения эффективностью производственной эксплуатации НТТМ с вертикальной и горизонтальной интеграцией нечетких составляющих состояния системы эксплуатации машин. С учетом полученных результатов исследований, применяя МНЛ и исследуя робастную устойчивость системы обеспечения стадии производственной эксплуатации НТТМ, в условиях развития технологий ПИВ и BigDataMining была разработана модель управления устойчивостью данной системы. Это, в свою очередь, в планируемых условиях, а именно с появлением доступной возможности быстрой передачи больших объемов информации (в частности, в стандарте 5G), даст возможность в режиме реального времени управлять устойчивостью системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ.

Анализ ресурс-параметров состояния системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ позволил выделить только три: производственный, технический (надежности) и технико-экономический. Производственный ресурс-параметр определялся как среднее значение коэффициента выполнения объемов работ (K_{BP}) за каждый месяц работы НТТМ в течение рассматриваемого периода; технический ресурс-параметр надежности устанавливался из таблиц, составленных в ходе экспериментального исследования; технико-экономический ресурс-параметр определялся как среднее значение коэффициента рентабельности (R) за каждый месяц работы НТТМ в течение рассматриваемого периода путем расчета с учетом постоянных (стоимость владения) и переменных затрат на их эксплуатацию.

Следует особо отметить, что в рамках нечетких моделей применительно к исследуемой задаче организации управления СОЭПЭ НТТМ множества, образуемые ресурс-параметрами, объединяются на одномерной оси временного ряда (BP) с детерминированной составляющей. Были обоснованы следующие четыре ресурс-параметра: $A_1(W)$ – множество состояний СОЭПЭ НТТМ; $A_2(K_{BP})$ – множество состояний обеспечения производства;

$A_3(R)$ – множество технико-экономических состояний; $A_4(I)$ – множество состояний надежности системы.

Рассмотрим обобщенную модель иерархического управления состоянием СОЭПЭ. Обеспечение эффективности производственной эксплуатации НТТМ представим в виде четырехуровневой схемы управления: конкретно выбранной НТТМ, функциональной группой машин, производством работ и предприятием.

Обобщенная математическая модель управления представляется в виде следующего упорядоченного множества:

$$M_{\text{уп}} = \langle T, X, Y, U, Q, Z, L, F, \phi, P, C, A, B \rangle, \quad (10)$$

где $T = \{t\}$ – множество моментов управления СОЭПЭ; $X = \{x\}$ – множество входных воздействий на СОЭПЭ; $Y = \{y\}$ – множество выходных откликов СОЭПЭ; $U = \{u\}$ – множество управлений на НТТМ; $Q = \{q\}$ – множество внутренних состояний СОЭПЭ; $Z = \{z\}$ – множество целей СОЭПЭ; L, F – операторы перехода состояний и выходов соответственно:

$$L : T \cdot X \cdot Q \rightarrow Q; \quad (11)$$

$$F : T \cdot X \cdot Q \rightarrow Y; \quad (12)$$

ϕ – оператор алгоритма управления; $P = \{p(q)\}$ – множество вероятностных мер; $C = \{c(u)\}$ – множество цен управления; $A = \{a(u)\}$, $B = \{b(u)\}$ – множества ошибок управления первого и второго рода соответственно.

Изложенное может быть объединено в четырехуровневую схему управления в виде иерархической (адаптивно-последовательной) схемы управления СОЭПЭ, которая показана на рис. 17.

Схема управления СОЭПЭ по рис. 17 описывается следующей математической моделью:

$$Y = F_4(F_3(F_2\{F_1(F_0(X_0, U_0, U_1, \Xi_0)U_1, U_2, \Xi_1)U_2, U_3, \Xi_2)U_3, U_4, \Xi_3)U_4, U_5, \Xi_4), \quad (13)$$

где Ξ_i – вектора ненаблюдаемых (не регистрируемых) воздействий на каждом i -м уровне управления.

Также включены используемые в модели факторы управления СОЭПЭ: цель управления (Z); информация о состоянии НТТМ, производственной и внешней среды (In); управляющее воздействие на уровень (U); алгоритм управления, являющийся функцией цели и алгоритма

$$U = \phi(In, Z). \quad (14)$$

В условиях текущего состояния, по предложенной концепции перехода состояний, компоненты СОЭПЭ могут быть реализованы в виде нечетких множеств.

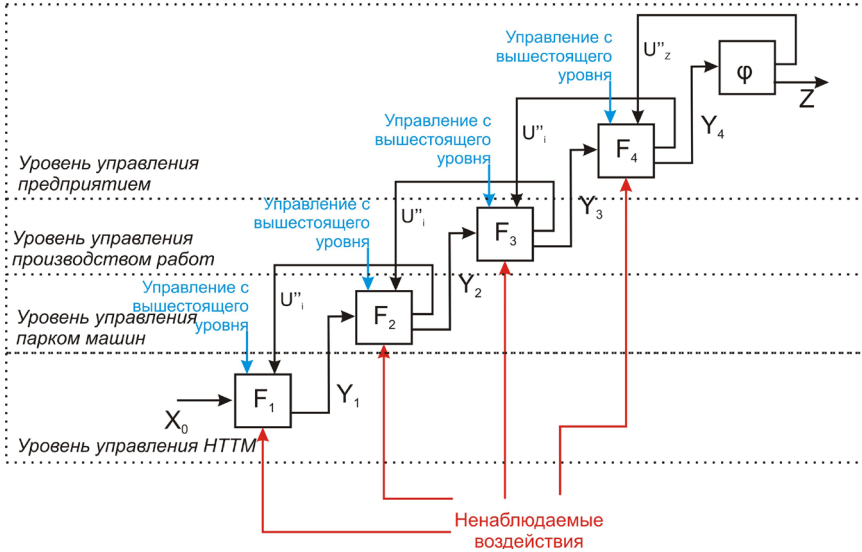


Рис. 17. Управление СООЭПЭ: F_i – оператор уровня СООЭПЭ; X_0 – наблюдаемые (регистрируемые в процессе мониторинга) воздействия внешней и производственной среды; U''_i – адаптирующая (управляющая) коррекция значения Y выхода

Для отдельно взятой конкретной оперативной ситуации общая модель управления СООЭПЭ может быть представлена в виде следующей системы множеств:

$$M_{\text{уп}} = \langle T, X, Y, U, Q, \tilde{Z}, L, F, \phi, G, C, \tilde{A}, B \rangle, \quad (15)$$

где $Q = \{q / \mu(q)\}$ – нечеткое множество состояний; $\mu(q)$ – нечеткая функция принадлежности, $\mu(q) \in [0, 1]$; $G\{g(q)\}$ – множество нечетких мер, $g(q) \in [0, 1]$, или

$$M_{\text{уп}} = \langle T, X, Y, \tilde{U}, \tilde{Q}, \tilde{Z}, L, F, \phi, G, C, A, B \rangle, \quad (16)$$

где $U = \{u / \mu(u)\}$ – нечеткое множество управлений (каналов); $Z = \{z / \mu(z)\}$ – нечеткое множество целей, или

$$M_{\text{уп}} = \langle T, X, Y, U, Q, \tilde{Z}, \tilde{L}, \tilde{F}, \phi, G, C, A, \tilde{B} \rangle, \quad (17)$$

где $C = \{c / \mu(c)\}$ – нечеткое множество затрат управления с нечеткими составляющими.

Отсюда иерархическая модель управления СООЭПЭ с нечеткими составляющими принимает вид

$$Y = F_4 (F_3 (F_2 (F_1 (X_1, U_1, \Xi_1), U_2, \Xi_2), U_3, \Xi_3), U_4, \Xi_4). \quad (18)$$

7. Комплексный теоретико-методологический подход к интеграции в технологии промышленного интернета вещей (ПИВ) систем управления производственной эксплуатацией НТТМ на конкретных объектах, включающий методику оперативного корректирования (управляющего воздействия) системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ при их работе в конкретных условиях (конкретной производственной среде). Следует рассмотреть слои цифровых платформ (ЦП) и выделить в них роль и место для разработанной методологии. Очевидно, что область знаний, охватываемая цифровым двойником (ЦД) НТТМ, взаимно пересекается с областью знаний, образуемой предиктивным цифровым двойником ПЭ, использующим разработанные автором методики. При этом данное пересечение в целом должно охватываться ЦП региона, которая включает с себя множество взаимодействующих ЦД НТТМ. В частности, при разделении по объектам, процессам, действиям и форме представления через срез объемов данных, к ним принадлежащих, знания внутри цифровой платформы (экосистемы), например, на уровне региона РФ образуют многокомпонентную архитектуру (рис. 18).

Концепция методологии обеспечения эффективности производственной эксплуатации машин заключается в последовательном решении задач на базе существующих и разработанных автором методик с переходом на следующий, более высокий уровень исследований, что в итоге приводит к конечному научному и практическому результатам при интеграции разработанного комплекса методик в структуру интеллектуальной системы управления НТТМ.

В основных, ключевых слоях цифровой платформы на уровне взаимодействия ЦУП (центрами управления производством) подрядной организации (ПО), эксплуатирующей машины или комплексы НТТМ, и органом управления дорожным хозяйством (ОУДХ) региона, планирующим объемы работ, структурная схема такой ЦП, использующая разработанные ресурс-параметры, показана на рис. 19.

На базе разработанного комплекса методик и в рамках смены состояний последовательная и планомерная деятельность по разработке ЦД НТТМ и их интеграции через ПИВ в области производственной эксплуатации и предложенной структуры компонентов ЦП приводит к возникновению и формированию новой интеллектуальной системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации машин, которая, реализуя показанную схему на рис. 19, соответствует наполнению облаков данных в слоях КФИ и ПР (рис. 20).

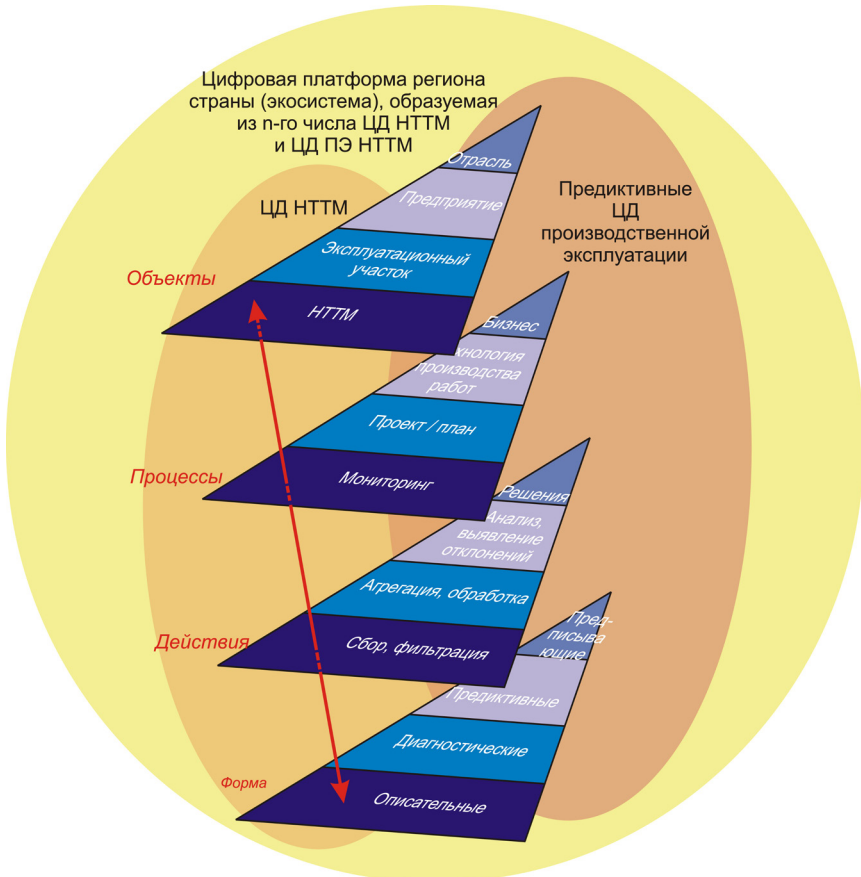


Рис. 18. Компоненты архитектуры ЦП региона, в представлении через срез объемов данных (знаний)

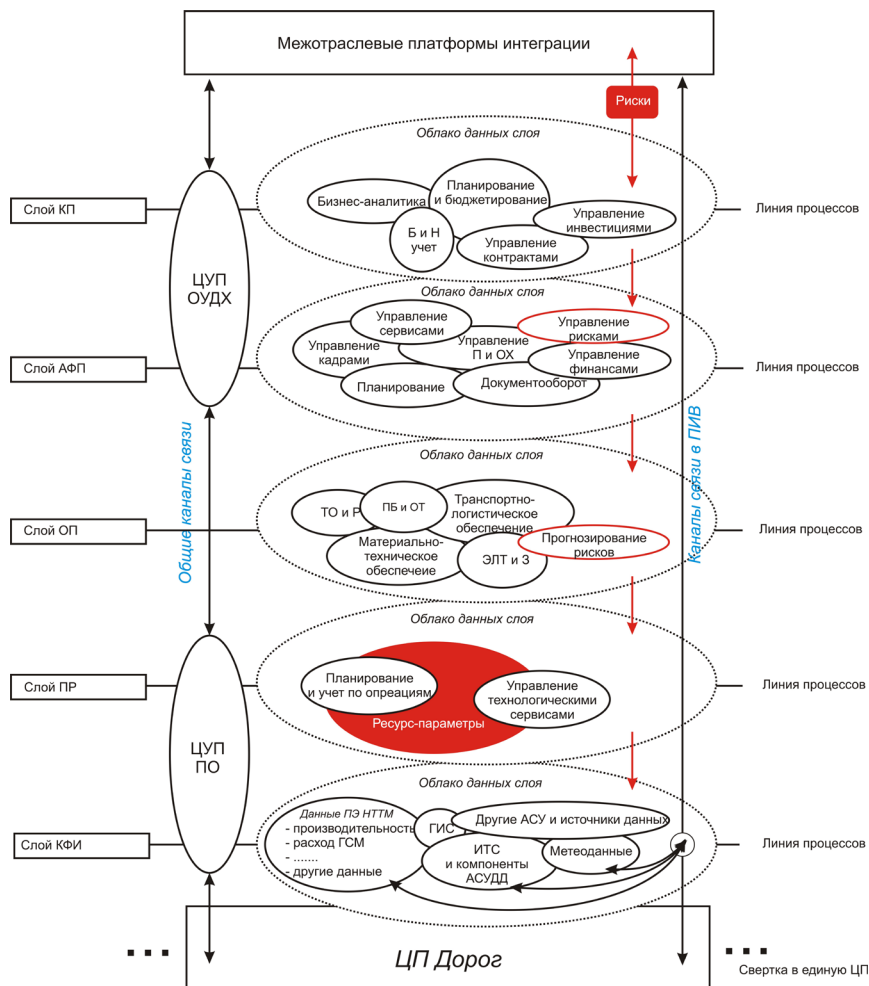


Рис. 19. Структурная схема цифровой платформы

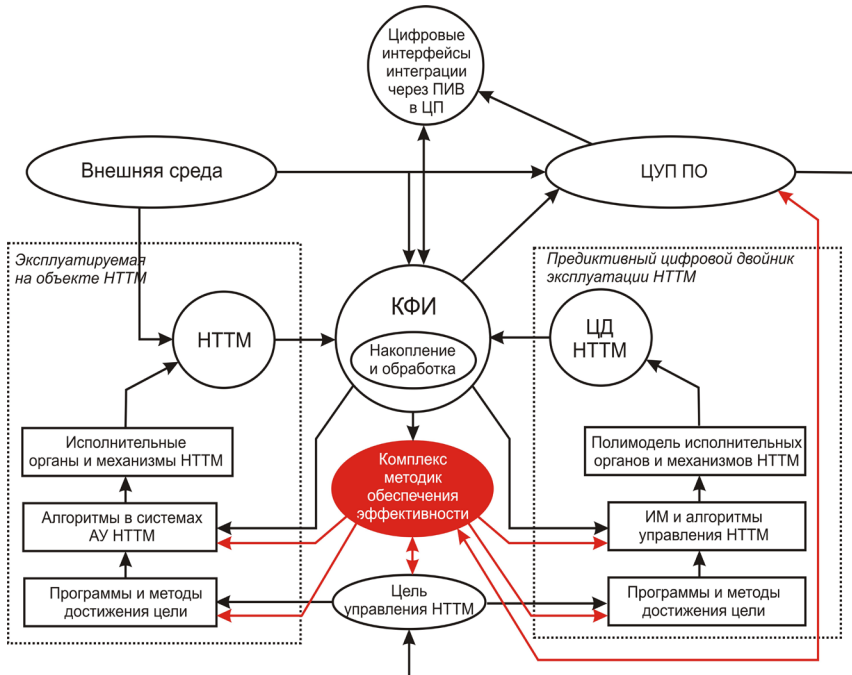


Рис. 20. Место комплекса методик обеспечения эффективности в предложенной системе

Множество степеней неопределенности состояний вдоль ВР с дискретной составляющей для каждого из четырех вышеуказанных уровней управления образует множество линейных стационарных микросостояний – локальных частных моментов состояния системы на малом отрезке ВР, которые могут быть представлены в частотной области посредством преобразования Лапласа. В указанном случае устойчивость всех макросостояний СОЭПЭ НТТМ может быть обеспечена робастной устойчивостью микросостояний конвейерно-адаптивной схемы управления по критерию устойчивости Михайлова. Это позволяет для исполнительных уровней управления синтезировать H_∞ регуляторы каждого уровня для гашения возмущений с минимально возможным уровнем при заданном значении меры неопределенности.

Принципиальная схема работы предложенного метода обеспечения робастной устойчивости системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ по критерию Михайлова на практике показана на рис. 21.

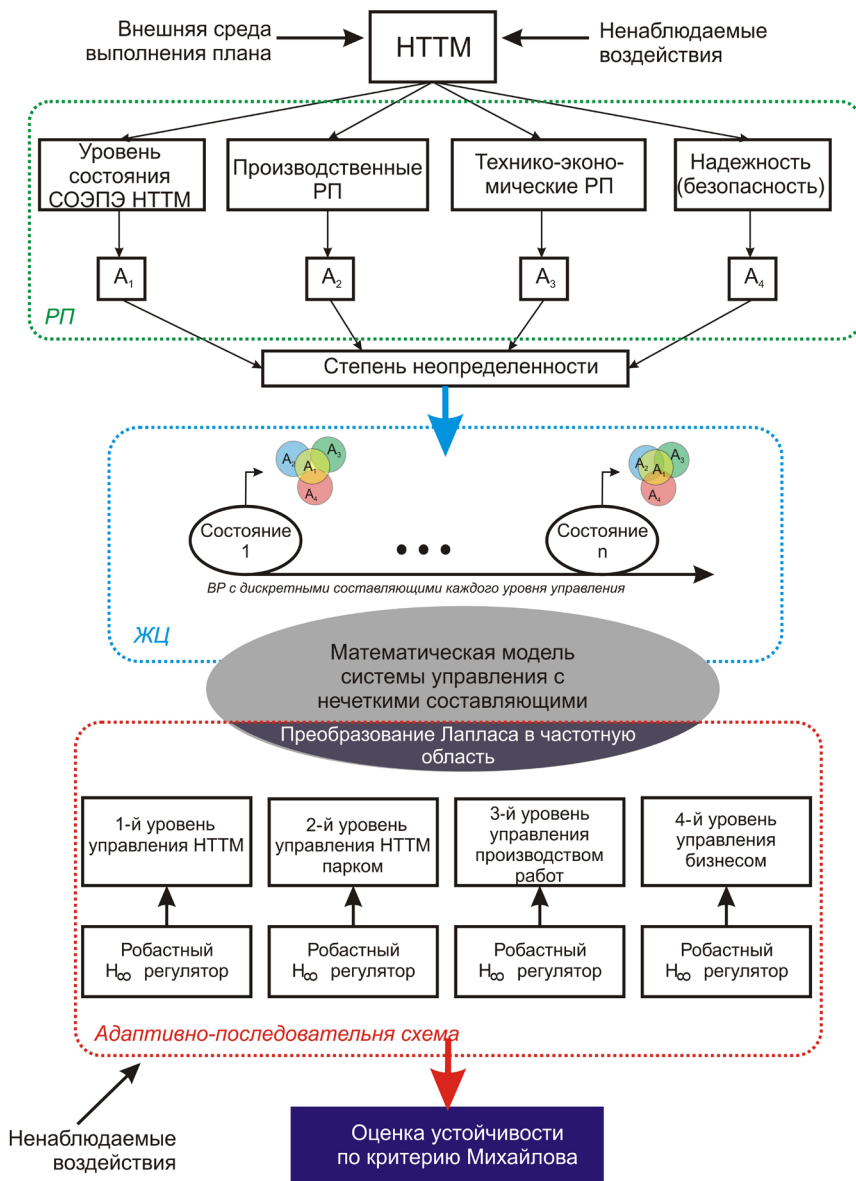


Рис. 21. Принципиальная схема работы предлагаемого метода обеспечения робастной устойчивости СОЭПЭ НТТМ по критерию Михайлова

Эффективность такого подхода обусловлена тем, что воздействие на ресурс-параметры состояния предложенной СОЭПЭ НТТМ осуществляется как оперативным, так с долгосрочным планированием. Это достигается технической возможностью передачи данных по технологиям 5G при интеграции НТТМ в ПИВ. Методология обеспечения системы эффективности производственной эксплуатации НТТМ может быть представлена в виде схемы на рис. 22.

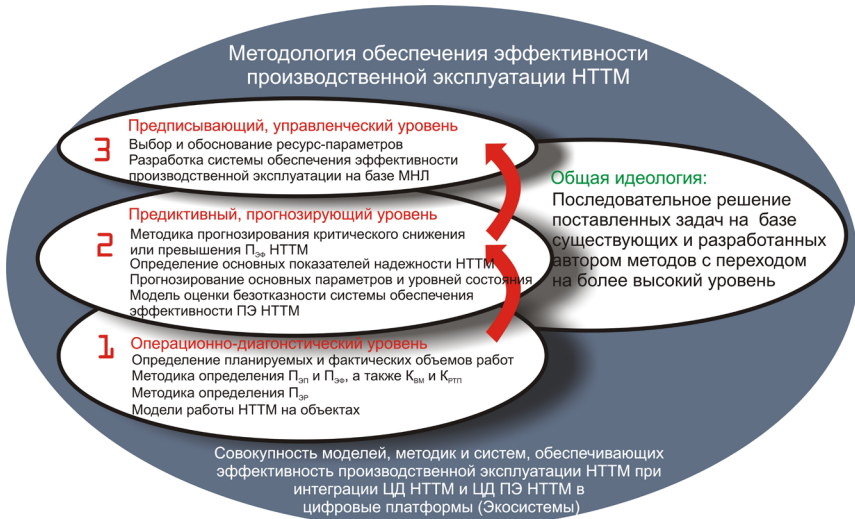


Рис. 22. Концептуальная схема методологии обеспечения системы эффективности производственной эксплуатации НТТМ

Первый уровень исследований (операционно-диагностический) необходим для постановки решаемых научных и практических задач, для выбора объектов исследования НТТМ, сбора необходимой информации о работе машин на объектах и проведения эксперимента с целью создания платформы для второго уровня (предиктивный, прогнозирующий). Результаты решения поставленных задач первого уровня позволяют увидеть работу НТТМ на объектах АД и места невыполнения требуемых объемов работ.

Второй уровень исследований (предиктивный, прогнозирующий) позволяет прогнозирование параметров и уровней СОЭПЭ НТТМ на основе выбранных критериев. Математический аппарат нечеткой логики и разработанная программа на методах НЛВ на основе критериев оценки состояния системы обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ позволяет получить численные прогнозируемые параметры системы, которые обеспечивают безотказную работу данной СОЭПЭ и долгосрочное планирование

работы машин на конкретных объектах, а кроме того, предупреждать за один-два дня и не допускать факты невыполнения требуемых объемов работ НТТМ, а также определять основные показатели надежности их работы.

Третий уровень исследований — управление системой обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ (предписывающий, управленческий) — позволяет в режиме реального времени и развития технологий ПИВ осуществлять управление системой, т. е. воздействовать на ее ресурс-параметры автоматически, без участия человека, в зависимости от сложившейся ситуации с помощью киберфизических интерфейсов. Причем разработанная система управления является интеллектуальной системой, способной одновременно анализировать и принимать автоматически управленческие решения не только по одному ресурс-параметру, например производственному, но и по двум другим — технико-экономическому и по техническому (надежности).

Предлагаемая концепция методологии обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ заключается в последовательном решении вышеуказанных задач на базе существующих и разработанных автором методик с переходом на следующий, более высокий уровень исследований, что в итоге приводит к конечному научному и практическому результатам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для практической реализации был разработан полимодельный комплекс в Matlab/Simulink (с использованием библиотек нечеткой логики, авторегрессии и нейронных сетей, с возможностью включения каналов регистрации аналоговых данных и цифровых данных по ПИВ). Данный комплекс включает модели: универсальную часть имитационной модели определения локальных критериев эффективности (`uniform_global`), имитационную модель расчета ресурс-параметров (`uniform_terr`) и модель прогнозирования с блоками нейронной сети авторегрессии и нечетким выводом (`uniform_fuzz`). На базе данных моделей был откомпилирован (средствами базового инструмента компиляции и отладки Matlab/Simulink) на языке C++ программный комплекс (ПК), включающий ядро, три основные подпрограммы, 19 компонентов, 166 классов и 23 собственные библиотеки классов. ПК, названный «ЭфОПроЭ», позволил связать данные Exell, потоки данных Vialon с разработанными методами СОЭПЭ НТТМ, при этом ПК был запущен на рабочих местах в рамках заключенных договоров на проведение исследований.

С учетом онтологии предметной области исследования определялись для сравнения по авторской методологии и по действующей практике организации управления в указанных фирмах следующие показатели: время и стоимость планирования, количество ошибок передачи данных (с удаленным мониторингом

и без), количество ошибок прогнозирования, эффективность применения НТТМ (объем выполнения плана работ), время и стоимость выполнения работ, затраты времени и стоимость обеспечения производства работ.

Основные научно-практические результаты диссертационного исследования:

1. Впервые разработаны теоретическое и методическое обоснование механизма оценки уровня эффективности работы НТТМ по требуемым объемам при их производственной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования по результатам целевого исследования технической, плановой и фактической эксплуатационной производительности с учетом фактических коэффициентов выполнения работ и реализации технического потенциала машин. Применение данного аппарата на практике позволило оценить фактическую эффективность работы НТТМ в конкретных условиях в рамках заключенных договоров на проведение исследований с организациями: АО «СМУ-Дондорстрой», ФКУ «Центравтомагистраль», АО «ПО РосДорСтрой», АО «Удмуртавтодор», ООО СПК «Зеленый город», ГП «Дорсервис».

2. Разработаны новые методы оценки, позволяющие выбирать рациональный способ определения эксплуатационной производительности НТТМ (расчетным или экспериментальным путем) на основе коэффициента выбора метода. Их практическое применение позволило оптимизировать планы производства работ и выполнить заданные объемы работ.

3. Впервые созданы графоаналитические методы прогнозирования с целью предупреждения и недопущения критического снижения или превышения эксплуатационной фактической производительности НТТМ при работе на объектах устойчивого развития на основе исследования функции приращения/убывания. Их практическое применение в рамках заключенных договоров на проведение исследований позволила снизить случаи критического изменения эксплуатационной фактической производительности на 75 %.

4. Разработаны новые методы оперативного и долгосрочного прогнозирования (определения) основных параметров и уровней состояния системы обеспечения производства работ на основе применения математического аппарата нечеткой логики (нечеткого вывода). Предложенное программное решение было внедрено на предприятиях в рамках заключенных договоров, что позволило на конкретных объектах на АД спрогнозировать параметры и уровни состояния СОЭПЭ НТТМ. Сходимость результатов прогнозирования с фактическим производством составила 95 %.

5. Впервые разработано концептуальное представление уровней состояния устойчивости СОЭПЭ НТТМ через взаимосвязь основных ресурс-параметров системы с выполнением работ по строительству, реконструкции, эксплуатации и ремонту АД, теоретически реализуемое при технологическом расширении объема и скорости транспорта данных в ПИВ.

6. Впервые разработана четырехуровневая иерархически адаптивно-последовательная система управления обеспечением эффективностью производственной эксплуатации НТТМ с вертикальной и горизонтальной интеграцией нечетких составляющих состояния системы эксплуатации НТТМ.

7. Разработан новый комплексный теоретико-методологический подход к интеграции в технологии промышленного интернета вещей (ПИВ) систем управления производственной эксплуатацией НТТМ на конкретных объектах, основанный на иерархии уровней конвейерно-адаптивной системы управления с обеспечением их робастной устойчивости по критерию Михайлова, включающий разработанную методику оперативного корректирования (управляющего воздействия) на систему обеспечения эффективности производственной эксплуатации НТТМ, при их работе в конкретной производственной среде.

8. Практическое применение результатов работы в организациях АО «СМУ-Дондорстрой», ФКУ «Центравтомагистраль», АО «ПО РосДорСтрой», АО «Удмуртавтодор», ООО СПК «Зеленый город», ГП «Дорсервис» позволило повысить эффективность производственной эксплуатации НТТМ, сократить время планирования производства работ в среднем на 21 %, снизить стоимость по планированию работ до 19 %, при этом наблюдалось увеличение точности прогнозирования на 32 %.

9. Реализация концепции работы позволила существенно сократить недоиспользование технического потенциала НТТМ и уменьшить время производства работ НТТМ в конкретных условиях их применения, при этом при выполнении работ на объектах выявлен прирост объема выполнения плана до 22 % с сопутствующим ему снижением стоимости выполнения на 12 %.

10. При оценке обеспеченности производства работ, за счет применения изложенных в работе научно-практических результатов было достигнуто снижение затрат времени на обеспечение производства работ в среднем на 17 % совместно со снижением затрат на обеспечение производства работ до 27 %. Среднее значение прироста фактической производительности НТТМ и их комплексов на фактических объектах составило до 11 %.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ

1. Научные задачи исследования жизненного цикла дорожных машин в современных условиях / С. А. Евтюков, С. В. Репин, С. М. Грушецкий, Г. А. Карпо // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 4(74). – С. 442–451.

2. Формирование парка машин для строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог с учетом этапов их жизненного цикла / С. А. Евтюков, С. В. Репин, С. М. Грушецкий, Г. А. Карпо // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – №3(62). – С. 62-69.

3. Производительность как качественный критерий оценки эффективности всех этапов системы жизненного цикла дорожных машин / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков, С. В. Репин, Г. А. Карро // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. – 2020. – №4(63). – С. 36–43.

4. Особенности постановки научных задач при исследовании системы мониторинга дорожных машин в современных условиях / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков, С. В. Репин, А. В. Соболев // Вестник МАДИ. – 2021. – № 1(64). – С. 30–38.

5. Определение технической и эксплуатационной производительностей дорожных машин на основе анализа объемов работ / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков, С. В. Репин, А. А. Кузнецов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – №1. – С. 38–52.

6. Грушецкий, С. М. Оценка эффективности определения производительности дорожных машин экспериментальным и расчетным путями / С. М. Грушецкий // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – №2. – С. 120–131.

7. Грушецкий, С. М. Особенности анализа результатов работы системы мониторинга дорожных машин / С. М. Грушецкий // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. – 2021. – № 3(66). – С. 47–55.

8. Грушецкий, С. М. Научный анализ критического снижения и повышения фактической эксплуатационной производительности дорожно-строительных машин / С. М. Грушецкий // Грузовик. – 2021. – № 8. – С. 33–43.

9. Грушецкий, С. М. Научный анализ функционирования аппаратной части системы мониторинга дорожных машин / С. М. Грушецкий // Грузовик. – 2021. – № 9. – С. 10–20.

10. Грушецкий, С. М. Определение коэффициентов оперативной технической готовности и старения дорожно-строительных машин / С. М. Грушецкий // Грузовик. – 2021. – № 10. – С. 19–24.

11. Анализ состояния рынка строительных машин в России / С. В. Репин, В. Е. Чечуев, С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Строительные и дорожные машины. – 2021. – № 9. – С. 11–13.

12. Грушецкий, С. М. Прогнозирование критического снижения эксплуатационной производительности дорожных машин / С. М. Грушецкий // Грузовик. – 2022. – № 1. – С. 21–32.

13. Грушецкий, С. М. Обобщенная модель иерархического управления состоянием системы обеспечения производственной эксплуатации дорожных машин / С. М. Грушецкий // Грузовик. – 2022. – № 5. – С. 15–22.

14. Обеспечение устойчивости системы производственной эксплуатации дорожных машин в условиях Арктики / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков, С. В. Репин, Д. С. Орлов [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 6. – С. 36–40.

15. Оценка применения СПГ в качестве топлива для дорожно-строительных машин в Арктической зоне / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков, Н. А. Образцов, И. И. Воронцов [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 6. – С. 41–42.

16. Современная автоматическая система управления работой машин для уплотнения поверхностей / А. Н. Гарашук, С. М. Грушецкий, А. А. Складорова, Д. С. Орлов [и др.] // Грузовик. – 2023. – № 5. – С. 39–45.

17. Анализ современных автоматических комплексов контроля работой машин для уплотнения поверхностей / А. Н. Гарашук, С. А. Евтюков, С. М. Грушецкий, Д. С. Орлов [и др.] // Грузовик. – 2023. – № 6. – С. 39–45.

**Публикации в изданиях,
индексируемых в Scopus и Web of Sciences**

18. Ensuring high-quality performance of the required scope of works by road-building machines in the Arctic zone / S. Grushetsky, S. Evtyukov, I. Vorontsov, S. Maksimov, J. Rajczyk // *Transportation Research Procedia*. – 2021 – 57. – С. 256–264.
19. Mathematical forecasting of a critical decrease in the actual operational productivity of road machines / S. Grushetsky, S. Evtyukov, I. Vorontsov, D. Orlov // *AIP Conference Proceedings* 4 May 2023. – 2497(1). – 030001. <https://doi.org/10.1063/5.0103533>
20. Model of fuzzy estimation of reliable operation of road vehicles in the Arctic conditions / S. Grushetsky, A. Terentyev, S. Evtyukov, S. Repin, I. Vorontsov. – 206. – PP. 293-298. DOI 10.1007/978-3-030-99626-0_32
21. Molecular modification of a hydrocarbon fuel with the influence of various physical fields / S. M. Grushetskiy, P. F. Anisimov, V. Yu. Kaminsky, S. N. Turusov // *Web of science. Marine intellectual technologies. Scientific journal*. – V.1, № 4 (42). – 2018. – URL: www.morintex.ru ISSN 2073-7173.

Патенты и программы для ЭВМ, имеющие госрегистрацию

22. Патент. Российская Федерация. Захват клещевой для труб: пат. на полезную модель : № 183548 : опубликовано: 25.09.2018 / Репин С. В., Полтанова М. Л., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
23. Патент. Российская Федерация. Захват клещевой для труб: пат. на полезную модель : № 177911 : опубликовано: 15.03.2018 / Репин С. В., Ильясов М. М., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
24. Патент. Российская Федерация. Клещевой захват с повышенной силой сжатия: пат. на полезную модель : № 176086 : опубликовано: 27.12.2017 / Репин С. В., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
25. Патент. Российская Федерация. Ковш скрепера: пат. на полезную модель : № 183238 : опубликовано: 14.09.2018 / Репин С. В., Кирилл Р. М., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
26. Патент. Российская Федерация. Ковш фронтального погрузчика: пат. на полезную модель : № 179158 : опубликовано: 28.04.2018 / Репин С. В., Сироткина Н. О., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
27. Патент. Российская Федерация. Ковш фронтального погрузчика с захватом: пат. на полезную модель : № 180191 : опубликовано: 06.06.2018 / Репин С. В., Суслин Д. Б., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
28. Патент. Российская Федерация. Погрузочное оборудование экскаватора: пат. на полезную модель : № 183092 : опубликовано: 11.09.2018 / Репин С. В., Семенов А. С., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
29. Патент. Российская Федерация. Рабочее оборудование автогрейдера: пат. на полезную модель : № 184801 : опубликовано: 09.11.2018 / Репин С. В., Скерт А. С., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
30. Патент. Российская Федерация. Рабочее оборудование бульдозера с рыхлительными зубьями: пат. на полезную модель : № 178081 : опубликовано: 22.03.2018 / Репин С. В., Асафат С. В., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.
31. Патент. Российская Федерация. Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора: пат. на полезную модель : № 174707 : опубликовано : 30.10.2017 / Репин С. В., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПБГАСУ.

32. Патент. Российская Федерация. Рабочий орган бульдозера: пат. на полезную модель : № 175353 : опубликовано: 01.12.2017 / Репин С. В., Грушецкий С. М., Орлов Д. С., Борисова В. И.; заявитель СПбГАСУ.

33. Патент. Российская Федерация. Рыхлительное оборудование одноковшового экскаватора: пат. на полезную модель : № 180462 : опубликовано: 14.06.2018 / Репин С. В., МIRONЮК Р. Ю., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПбГАСУ

34. Патент. Российская Федерация. Скрепер с вибрационным желобом: пат. на полезную модель : № 179156 : опубликовано: 28.04.2018 / Репин С. В., Чечуев В. Е., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПбГАСУ.

35. Расчет устойчивости одноковшового экскаватора: Свидетельство на программу для ЭВМ № 2016618004 : опубликовано: 19.05.2016 / Репин С. В., Грушецкий С. М., Орлов Д. С.; заявитель СПбГАСУ.

36. Система поддержки принятия решений по управлению системой обеспечения эффективности производственной эксплуатации наземных транспортно-технологических машин «ЭФОПрoЭ» : Свидетельство на программу для ЭВМ № 2023667655: опубликовано: 17.08.2023 / Грушецкий С. М.; заявитель Грушецкий С. М.

Монографии

37. Грушецкий, С. М. Эффективность применения строительно-дорожных машин в современных условиях : монография / С. М. Грушецкий // Монография. – СПб: Петрополис, 2021. – 168 с.

Публикации в других изданиях, индексируемых в РИНЦ

38. Грушецкий, С. М. Анализ состояния парков коммунальных машин ДРСУ Ленинградской области / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Доклады 57-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб. – 2000. – С. 109-110.

39. Грушецкий, С. М. Анализ существующей системы ТО транспортно-технологических машин / С. М. Грушецкий, И. В. Замираев // Доклады 63-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб. – 2006. – С. 182-187.

40. Грушецкий, С. М. Влияние периодичности технических обслуживаний коммунальных машин на качество содержания автомобильных дорог / С. М. Грушецкий // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : сб. докл. 4-й междунар. конф. / СПбГАСУ. – СПб., 2000. – С. 190–192.

41. Грушецкий, С. М. Влияние системы эксплуатации дорожно-строительных машин на безопасность движения / С. М. Грушецкий, И. В. Замираев // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : сб. докл. 5-й междунар. конф. / СПбГАСУ. – СПб., 2002. – С. 269-272.

42. Грушецкий, С. М. Влияние системы эксплуатации транспортно-технологических машин на качество выполняемых работ на объектах / С. М. Грушецкий, И. В. Замираев // Доклады 64-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2007. – С. 148-152.

43. Грушецкий, С. М. Методика имитационного моделирования при автоматизации рабочих процессов дорожно-строительных машин / С. М. Грушецкий, Я. В. Васильев // Реконструкция – Санкт-Петербург – 2005. Междунар. науч.-практическая конф. : сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2005. – С. 74-78.

44. Грушецкий, С. М. Методика по применению системы технической эксплуатации коммунальных машин для содержания автомобильных дорог / С. М. Грушецкий // Труды молодых ученых. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2000. – С. 94-98.

45. Грушецкий, С. М. Методика создания специального парка машин в дорожно-строительном комплексе / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Доклады 53-й междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов, докторантов и студентов университета / СПбГАСУ. – СПб., 1999. – С. 40–44.

46. Грушецкий, С. М. Направления развития технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин в современных условиях / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Доклады 57-й науч. науч.-практ. конф. молодых ученых. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2006. – С. 150-155.

47. Грушецкий, С. М. Научные исследования в строительном и дорожном машиностроении / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Доклады 2-й науч.-техн. конф. Проблема качества строительной продукции. Ч. 2 / ВИТУ. – СПб., 1999. – С. 101–102.

48. Грушецкий, С. М. Научные исследования в строительном и дорожном машиностроении при переходе отрасли к рыночной экономике / С. М. Грушецкий // Доклады 56-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 1999. – С. 90-91.

49. Грушецкий, С. М. Определение оптимизированной периодичности ТО-2 коммунальных машин для содержания дорог при эксплуатации / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Научные и практические вопросы совершенствования эксплуатации мобильных машин в современных условиях. Вып. 2: тез. докл. одноименного науч.-техн. семинара, 08.12.2000 / ВИТУ. – СПб., 2001. – С. 79-85.

50. Грушецкий, С. М. Определение периодичности технического обслуживания транспортно-технологических машин современными методами / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Реконструкция – Санкт-Петербург – 2003. Междунар. науч.-практическая конф. : сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2002. – С. 156-159.

51. Грушецкий, С. М. Организация технического обслуживания машин для содержания дорог Северо-Западного региона / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Доклады 59-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 2002. – С. 143-144.

52. Грушецкий, С. М. Организация технического обслуживания при эксплуатации специального парка транспортных машин / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Реконструкция – Санкт-Петербург – 2003. Междунар. науч.-практическая конф. : сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2002. – С. 165-167.

53. Грушецкий, С. М. Организация технического обслуживания транспортно-технологических машин при строительстве крупных объектов в современных условиях / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Доклады 62-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 2005. – С. 180-182.

54. Грушецкий, С. М. Основные проблемы совершенствования системы ТО и ремонта дорожных машин в современном строительстве / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев, Я. Райчик // Доклады 61-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 2004. – С. 168-170.

55. Особенности консервации и хранения сменного рабочего оборудования парков машин для зимнего содержания дорог в летний период / С. М. Грушецкий, Я. В. Васильев, И. В. Замаев, А. Н. Юрчак // Доклады 66-й науч. конф. профессоров, преподавателей,

научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 4 / СПбГАСУ. – СПб., 2009. – С. 114-116.

56. Грушецкий, С. М. Перспективы развития системы ТО и ремонта транспортно-технологических машин / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: 6-я междунар. конф.: сб. докл. / СПбГАСУ. – СПб., 2004. – С. 385-387.

57. Грушецкий, С. М. Повышение эффективности использования машин в дорожно-строительном комплексе / С. М. Грушецкий // Доклады 55-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 1998. – С. 101-103.

58. Грушецкий, С. М. Повышение эффективности использования специального парка коммунальных и дорожных машин / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Научные и практические вопросы совершенствования эксплуатации мобильных машин в современных условиях. Вып. 1: тез. докл. одноименного науч.-техн. семинара, 18.11.1999 / ВИТУ. – СПб., 2000. – С. 23-29.

59. Грушецкий, С. М. Пути развития системы ТО и ремонта дорожных машин в современном строительстве / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Доклады 56-й науч.-практической конф. молодых ученых: сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2004. – С. 165-167.

60. Грушецкий, С. М. Пути развития системы ТО и ремонта транспортно-технологических машин в XXI веке / С. М. Грушецкий, В. М. Аверин // Доклады 57-й науч.-практической конф. молодых ученых: сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2004. – С. 153-158.

61. Грушецкий, С. М. Расчет периодичности ТО-2 коммунальных машин для содержания дорог современными методами / С. М. Грушецкий, Я. Райчук // Доклады 58-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 2001. – С. 104-106.

62. Грушецкий, С. М. Совершенствование организации технического обслуживания транспортно-технологических машин при строительстве крупных объектов в современных условиях / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Реконструкция – Санкт-Петербург – 2003. Междунар. науч.-практ. конф.: сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2005. – С. 78-80.

63. Грушецкий, С. М. Совершенствование системы технического обслуживания специального парка транспортно-технологических машин / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Транспортные средства Сибири: межвуз. сб. науч. тр. с междунар. участием. Вып. 8 / ИПЦ КГТУ. – Красноярск, 2002. – С. 252-255.

64. Грушецкий, С. М. Современные методы организации ТО и ремонта транспортно-технологических машин в XXI веке / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев // Доклады 58-й науч.-практической конф. молодых ученых: сб. докл. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 2005. – С. 190-194.

65. Грушецкий, С. М. Состав коммунальных машин в парках ДРСУ Ленинградской области и основные трудности при их использовании / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Труды молодых ученых. Ч. 5 / СПбГАСУ. – СПб., 1999. – С. 62-65.

66. Грушецкий, С. М. Состояние и пути развития рынка СДМ / С. М. Грушецкий // Доклады 52-й международной науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов СПб / СПбГАСУ. – СПб., 1998. – С. 81-82.

67. Грушецкий, С. М. Состояние и пути развития строительных и дорожных машин / С. М. Грушецкий, С. А. Евтюков // Труды молодых ученых, Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 1998. – С. 52-55.

68. Грушецкий, С. М. Состояние технического обслуживания машин для содержания дорог в Северо-западном регионе / С. М. Грушецкий, И. В. Замаев, С. А. Евтюков //

Механики XXI века: 2-я Всероссийская научно-техническая конф. с междунар. участием: сб. докл. / БГТУ. – Братск, 2002. – С. 19-22.

69. Грушецкий, С. М. Структура системы качества строительно-дорожных машин / С. М. Грушецкий, Я. В. Васильев, Е. Е. Медрес // Доклады 60-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб., 2003. – С. 187-191.

70. Grushetsky, S. M. Techniczskoje sotojanie komunalnych maszyn i kaczestwo sodierzania awtomobilnych dorog (статья на польском языке) / S. M. Grushetsky, J. Rajczyk // Materiały trzeciego międzynarodowego seminarium naukowego efektywność i niezawodność w budownictwie. – Czestochowa, Pazdziernir. – 2001. – PP. 25-26.

71. Грушецкий, С. М. Техническое обслуживание и ремонт транспортно-технологических машин в XXI веке / С. М. Грушецкий, И. В. Замараев // Проблемы развития дорожно-транспортного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. / СПбГАСУ. – СПб., 2006. – С. 141–144.

72. Грушецкий, С. М. Выбор комплекса машин для выполнения подготовительных работ / С. М. Грушецкий // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 68-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Посвященная 110-летию Хомутецкого Н. Ф. 15-17 апреля 2015 г.: сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – 2015. – С. 71-74.

73. Грушецкий, С. М. Разработка стенда для сборки (разборки) и испытания гидроцилиндров / С. М. Грушецкий, Н. П. Поплавская // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 68-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Посвященная 110-летию Хомутецкого Н. Ф. 15-17 апреля 2015 г.: сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – 2015 / СПбГАСУ. – СПб. – С. 74-76.

74. Грушецкий, С. М. Совершенствование технологии земляных ремонтно-строительных работ / С. М. Грушецкий // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 68-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Посвященная 110-летию Хомутецкого Н. Ф. 15-17 апреля 2015 г.: сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – 2015. – С. 62-66.

75. Грушецкий, С. М. Техническая эксплуатация наземных транспортно-технологических машин / С. М. Грушецкий, Е. В. Куракина // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 69-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. докл. Ч. 2 / СПбГАСУ. – СПб., 2016. – С. 112-116.

76. Грушецкий, С. М. Экскаватор непрерывного действия для отрывки траншей и котлованов / С. М. Грушецкий, В. Н. Соколов, А. Павлов // Архитектура – Строительство – Транспорт: материалы 71-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета, 7-9 октября 2015г.: сб. докл. Ч. 1 / СПбГАСУ. – СПб, 2015. – С. 61-63.

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 11.09.2023. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 2,56. Тираж 150 экз. Заказ 115.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.