

На правах рукописи



ЕГОРОВ Владимир Дмитриевич

**МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ПРОГРАММЫ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ПЕРЕВОЗОК ДЛЯ ЦИФРОВЫХ
СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ
МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность: **05.22.10** – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

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

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Терентьев Алексей Вячеславович

Официальные оппоненты: **Ризаева Юлия Николаевна**
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кафедра управления автотранспортом, заведующий;

Селиверстов Ярослав Александрович
кандидат технических наук,
ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н. С. Со-
ломенко Российской академии наук (ИПТ РАН),
г. Санкт-Петербург, лаборатория интеллектуальных
транспортных систем, старший научный сотрудник;

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Белгородский государственный техно-
логический университет им. В. Г. Шухова»**

Защита состоится «01» марта 2022 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, 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: <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/egorov-vladimir-dmitrievich>

Автореферат разослан «20» января 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Олещенко Елена Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Необходимость развития сервисно-ориентированных систем планирования грузовых автомобильных перевозок (ГАП), в первую очередь, аргументируется значительным уровнем издержек из-за низкой производительности работы грузового автомобильного транспорта (АТ) в РФ. Данный показатель в РФ в 2...3 раза в сравнении с производительностью работы грузовых автомобилей в зарубежных странах, активно внедряющих цифровые технологии в модели организации ГАП. Цифровые сервисно-ориентированные модели формирования систем ГАП предполагают обязательное разделение организации ГАП на производственную и координационную составляющие, а цифровые сервисы (ЦС) позволяют интегрировать их в единую интеллектуальную систему на основе цифровых сервисно-ориентированных моделей управления. Опыт применения данных сервисно-ориентированных моделей управления ГАП за рубежом показывает возможность повышения производительности работы грузовых автомобильных транспортных средств (АТС) на 5...6%, причем более половина этого увеличения достигается только за счет оптимизации процессов управления.

Традиционно основой для формирования системы управления процессами ГАП в РФ была информация о состоянии технико-эксплуатационных показателей работы АТС (ТЭП), полученная на основе системной обработки статистических данных об эффективности эксплуатации подвижного состава автотранспортного предприятия (АТП) за предшествующие периоды. Основной проблемой применения данной модели в современной практике организации ГАП является динамическая нестабильность большинства показателей использования АТС, таких как время простоя под погрузкой и разгрузкой (ПРР), среднетехническая скорость, время в наряде и т. д. Перечисленные показатели в современных условиях являются сложнопрогнозируемыми величинами, в значительной степени зависящими от факторов внешней среды ГАП из-за сложной дорожной обстановки, многочисленных заторовых ситуаций т.д.

Разработка эффективных средств и инструментов управления в исследуемой сложной системе всегда является основополагающей научной задачей в приложении к любой сфере деятельности. Эффективность системы всегда определяется адекватностью методов организации процессов в системе и получения достоверных оценок состояния системы. Современный уровень развития цифровых технологий позволяет выйти на новый качественный уровень техническим инструментам сбора, обработки и анализа информации в цифровом формате о состоянии транспортных процессов

в динамике их развития – в «он-лайн» режиме. В свою очередь, новые возможности обязывают научное сообщество создавать новые научно-методические подходы к разработке аналитических средств организации и планирования ГАП, то есть к разработке, соответствующей современному уровню развития технологического процесса структуры ТЭП коммерческой эксплуатации грузовых АТС.

Основой для объективной оценки эффективности эксплуатации ГАП, отвечающей требованиям цифровой трансформации отрасли, является математическая модель расчёта ТЭП, реализованная в методике расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисно-ориентированных моделей управления.

Востребованная необходимостью задача цифровизации управления процессами ГАП в условиях динамически нестабильного состояния внешней среды является важной социально значимой задачей, так как отсутствие научного подхода к решению данной проблемы приводит к противоречию между сосуществующим уровнем развития цифровых технологий и устаревшими формами организации ГАП, а, в итоге, неоправданным затратам по доставке грузов в РФ. Настоящим диссертационным исследованием должна быть обеспечена разработка методики, позволяющей системно, с учётом современных достижений научно-технического прогресса в области цифровых технологий, прогнозировать результативные показатели работы при производственном планировании ГАП.

Степень разработанности проблемы. Еще в советское время автотранспортные предприятия (АТП) применяли достаточно эффективные методы для организации и планирования подвижного состава. Теоретическая основа развития ГАП была заложена и развивалась в постсоветское время в работах Вельможина А.В., Воркута А.И., Гудкова В. А., Горева А. Э., Корчагина В. А., Лукинского В.С., Миротина Л.Б., Николина В. И., Пугачева И. Н, Россохи В.И. и многих других авторов. К исследованиям, посвященным организации и планированию ГАП в изменившихся условиях его работы, обращаются и современные авторы научных работ. Авторы перечисленных работ при решении задач эффективности перевозок опираются на расчёт производственной программы по эксплуатации АТС. Во многих работах отмечается, что переход к рыночным отношениям изменяет практику, изменяет входные данные и состав показателей, применяемых для определения эффективности ГАП. Отмечается, что особенностью в современных условиях является частое изменение режимов движения, расстояний перевозки, объемов и видов грузов и т. д., что в совокупности не позволяет по-

лучать достоверные результаты в режиме работы АТС. Также в большинстве работ декларируется необходимость создания новых математических моделей для проведения анализа и получения достоверных ТЭП, оценивающих эффективность работы автомобилей в сложных условиях внешней среды (дорожной, экономической, организационной).

Анализ учебных, методических и научных работ показал, что для того, чтобы приблизиться к объективному управлению ГАП в сложных динамических условиях, необходимо производить планирование на основе анализа конкретных данных по отдельным заявкам на транспортные услуги и, исходя из конкретных условий перевозок по каждой заявке: расстояний перевозки, времени ПРР, учитывая грузоподъемность или грузовместимость отдельного АТС и т. д.

Поэтому определяется необходимость перехода на новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом, обязательным элементом которого является использование в процессе управления современного ПО, автоматизирующего процедуры принятия решений при регулировании и планировании ГАП.

Целью диссертационной работы является разработка методики расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисно-ориентированных моделей управления, позволяющая объективно регулировать и планировать ТЭП в динамически нестабильных условиях ГАП.

Для достижения цели исследования решаются **следующие задачи:**

1. Обосновать концепцию перехода на цифровые модели управления в условиях динамически нестабильных показателей использования АТС, зависящих от факторов внешней среды ГАП.

2. Разработать принципы организации автомобильных перевозок с применением системной сервисной модели, основанной на цифровых технологиях.

3. Разработать аналитическую модель сервисно-ориентированной методики определения технико-эксплуатационных показателей при организации ГАП с учетом возможности автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте.

4. Разработать научно-методический подход к расчёту производственной программы по определению показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий для установления фактических показателей использования АТС на маршрутах с учетом влияния внешних условий перевозки.

5. Произвести апробацию методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП.

Объектом исследования является система планирования автомобильных перевозок в динамически изменяющихся условиях среды эксплуатации автотранспортных средств.

Предметом исследования являются научные методы и аналитические модели оценки эффективности ГАП, предполагающие возможность применения цифровых технологий и определения информационного состояния транспортных процессов в «он-лайн» режиме.

Научная гипотеза исследования предполагает некорректность применения стохастического неопределенного показателя ТЭП (среднетехническая скорость, время ПРР и др.) при расчёте производственной программы ГАП. В целях оптимального планирования ГАП и, исходя из изменяющихся условий перевозки, должны определяться фактические базы ограничений по величине отдельных показателей использования АТС и формироваться базы данных весовых коэффициентов распределения вкладов в эффективность системы для каждого показателя. По сформированным таблицам весовых коэффициентов распределения вкладов отдельных показателей должна определяться эффективность каждого маршрута в заданной системе ограничений и целеполагания. При этом задача определения оценки влияния фактических показателей использования должна решаться по всем видам ограничений, накладываемых внешней средой с применением методов векторной оптимизации, и производиться комплексная оценка эффективности организации процесса перевозок по совокупности исследуемых параметров.

Научная новизна исследования заключается в:

1. Разработке аналитической модели сервисно-ориентированной методики определения ТЭП, обеспечивающей: возможность регулярного обновления ТЭП на основе полученных «он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок; возможность автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте; возможность формирования результативных ТЭП в виде баз данных, позволяющих анализировать результативные ТЭП выполнения транспортной работы в различных форматах по любому интересующему периоду и т.д.

2. Разработке аналитической модели определения управляющих коэффициентов, учитывающих стохастический неопределенный характер показателей ТЭП, основанной на применении комплекса ограничений, накладываемых

ваемых на варьируемые показатели на установленном интервале времени, определяемом периодом исследования.

3. Разработке методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации и планировании ГАП, предназначенной для анализа информационных ситуаций влияния внешней среды на результативные показатели и оперативного корректирования оцениваемой эффективности процессов эксплуатации АТС.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработанный научно-методический подход к исследованию показателей ГАП позволит реализовать важнейшее средство достижения эффективности сервисно-ориентированной модели управления – производить объективную оценку организации ГАП и управлять ресурсами системы для повышения её эффективности.

Практическая значимость заключается в том, что позволяет планировать ГАП, применяя современные цифровые технологии с максимальной степенью эффективности на основании дифференцированной оценки показателей использования автомобилей:

- формировать базы исходных данных показателей на базе протокола маршрутизации и его реализующего ПО, предполагающего возможность применения «он-лайн»-данных о состоянии процесса при выборе эффективного действия и при наличии стохастической неопределённости исследуемых показателей;

- формировать состав показателей, исключая показатель средне-технической скорости движения, но предполагающий расчёт фактической средней скорости движения АТС на каждом отдельном маршруте;

- решать многокритериальные задачи оптимизации в анализируемой системе ГАП в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов.

Сформулированные в исследовании выводы и практические рекомендации могут быть использованы в работе АТП и транспортно-логистических компаний, осуществляющих и организующих ГАП любых видов грузов.

Методология и методы исследования основываются на системном анализе, теории информационного взаимодействия в условиях различных информационных состояний при динамически изменяющихся факторах внешней среды, методов векторной оптимизации, теории вероятностей, статистических методов обработки и анализа экспериментальных данных.

Область исследования соответствует пунктам паспорта научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта:

- П2. Оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов.
- П15. Развитие новых информационных технологий при перевозках.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концепция организации автомобильных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления.
2. Аналитические модели определения показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий.
3. Аналитические модели определения коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя ТЭП.
4. Методика расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП.

5. Результаты апробации методики расчёта производственной программы по эксплуатации для целей исследования эффективности системы ГАП

Личный вклад автора. Все идеи, положенные в основу:

- методики расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисно-ориентированных моделей управления;
- аналитической модели определения ТЭП, обеспечивающей возможность регулярного обновления ТЭП на основе полученных «он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте; принадлежат автору исследования.

Степень достоверности обоснована эффективным использованием методов системного анализа и системной инженерии при формировании концепции внедрения цифровых технологий в ГАП; обоснована применением методов векторной оптимизации и линейного программирования при создании аналитических моделей, оптимизирующих методы расчёта производственной программы ГАП; подтверждена применением разработок исследования при выполнении научно-технической работы «Разработка цифровых объектно-ориентированных моделей управления в транспортно-логических системах и прототипов программного обеспечения на их основе», ФГБОУ ВО «СПб-ГАСУ», 2020-2021 гг.; обеспечена применением авторского программного обеспечения (ПО), автоматизирующего новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом.

Апробация работы. Результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на конференциях:

– Объединённый международный онлайн форум МАНФ-2020 «Наземные интеллектуальные транспортные средства и системы» и АВТОНЕТ–2020 «Форум инновационных транспортных технологий», 14–15 октября 2020, г. Москва.

– XIII Петербургский международный инновационный форума «Логистический Кластер Северо-Запада России: Внедрение цифровых технологий в систему управления логистики» (11 -13 ноября, 2020 - Санкт-Петербург).

– X Международный форум «Арктика: настоящее и будущее», 10–12 декабря 2020, г. Санкт-Петербург.

– Санкт-Петербургская конференция кластеров «Кластеры открывают границы. Цифровая трансформация», 28 июня 2021 г, г. Санкт-Петербург.

– Международная конференция «Транспортная доступность Арктики: сети и системы», 2 -4 июня 2021 г. г Санкт-Петербург.

Реализация результатов работы. Значимость результатов диссертационного исследования подтверждается:

1. Актом о внедрении в учебные программы ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» при реализации лекционных, практических и лабораторных занятий кафедрой транспортных систем по направлениям подготовки:

– бакалавров – 23.01.01 «Технология транспортных процессов» (профиль подготовки «Организация перевозок и управление на автомобильном транспорте»)

– 23.04.01 «Технология транспортных процессов» (профессионально-образовательная программа «Транспортная логистика и интеллектуальные транспортные системы»).

2. Актом о внедрении в производство АО «Тяжмаш» (г. Сызрань), АО «НИИРПИ» (г. Санкт-Петербург).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 6 работ. Общий объем их составляет 1,2 печатных листа, включая 4 из них в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, 2 статья в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о регистрации программ ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем со-

ставляет 161 страницу машинописного текста, включающего 17 рисунков и 18 таблиц. Библиография содержит 137 наименования.

Во введении раскрывается тема исследования, обосновывается её выбор, актуальность и необходимость разработки методики расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисно-ориентированных моделей управления. Формируется цель и задачи исследования, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, изложены положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе выполнен анализ современных научных подходов при решении задач управления ГАП и определено, что основной проблемой перехода на цифровые модели управления является отсутствие эффективных инструментов управления ГАП в условиях динамически нестабильных показателей использования АТС. Определено, что в случае, когда статистические данные показателей использования АТС в ГАП не подчиняются стандартным законам распределения случайных величин может Данный класс задач решаться с теории информационного взаимодействия в сложных динамических системах.

Во второй главе разработана научная концепция перехода на цифровые модели управления в условиях динамически нестабильных показателей использования АТС, зависящих от факторов внешней среды ГАП.

В третьей главе разработана аналитическая модель сервисно-ориентированной методики определения ТЭП, обеспечивающая: возможность регулярного обновления ТЭП на основе полученных «он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок; возможность автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте; возможность формирования результативных ТЭП в виде баз данных, позволяющих анализировать результативные ТЭП выполнения транспортной работы в различных форматах по любому интересующему периоду.

В четвёртой главе апробирована методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП.

В заключении изложены основные итоги и результаты выполненного исследования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Концепция организации автомобильных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления

Цифровые технологии (ЦТ) сегодня - обязательная часть любого бизнес-процесса и их внедрение в процесс организации ГАП повлечет за собой изменения в её структуре, методах управления и методах оценки эффективности, поэтому важно рассмотреть особенности применения ЦТ. Особенности применения ЦТ объясняются рядом преимуществ свойств информации, преобразованной в цифровой формат:

- 1) возможность передачи кодированной информации с использованием различных материальных носителей;
- 2) возможность распространять информацию посредством копирования без потери ее качества и точности;
- 3) возможность многократного увеличения скорости передачи информации за счёт увеличения плотности записи и т. д.

В исследовании разработана модель формирования сервисно-ориентированной структуры АТП, активно внедряющих ЦС в виде системных сервисных моделей (ССМ) для отдельных видов перевозок, характеризующихся индивидуальными структурами критериев с точки зрения специфики бизнес-процессов, технологических особенностей, структуры используемых приложений. ССМ – модель, в которой основополагающим является принцип оптимального формирования цифрового сервиса из совокупности цифровых ресурсов: оборудования, информационных систем, технологий, персонала и услуг. Схема структуры и взаимодействия в разработанной концепции приведена на рисунке 1.

Поиск решения поставленных задач мотивирует необходимость большого объема теоретической работы по разработке новых методик, моделей и алгоритмов (рисунок 2).

2. Аналитические модели определения показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий.

В динамически изменяющихся условиях ГАП:

1. Может быть определен некоторым заранее известным интервалом изменений времени во времени. То есть, когда и сверху, и снизу эти показатели ограничены возможностями их технической реализации, тогда система показателей x_j ($j = \overline{1, m}$) представима в виде m -мерного пространства, а зна-

чения ограничений, как выделение в этом пространстве некоторой области, которая является областью определения показателей x_j :

$$\begin{cases} x_1^* \leq x_{j1} \leq x_1^{**} \\ \dots \\ x_j^* \leq x_{ij} \leq x_j^{**} \\ \dots \\ x_m^* \leq x_{im} \leq x_m^{**} \end{cases}, \quad (1)$$

где n – номер варианта решения.

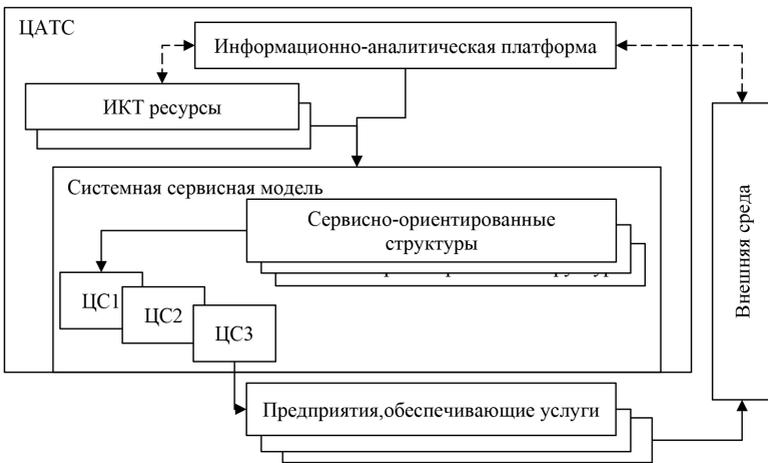


Рисунок 1. Схема структуры и взаимодействия ССМ ЦАТС с внешней средой

Если принять, что влияние показателя на качество на эффективность решения обратно пропорционально величине его колебаний в области (1), то коэффициенты значимости его могут быть найдены из соотношения:

$$\psi_j^{(1)} = \alpha \frac{x_j^{**}}{x_j^{**} - x_j^*}, \quad (2)$$

где α – коэффициент пропорциональности.

Полагая, что

$$\sum_{j=1}^m \bar{\psi}_j = 1, \quad (3)$$

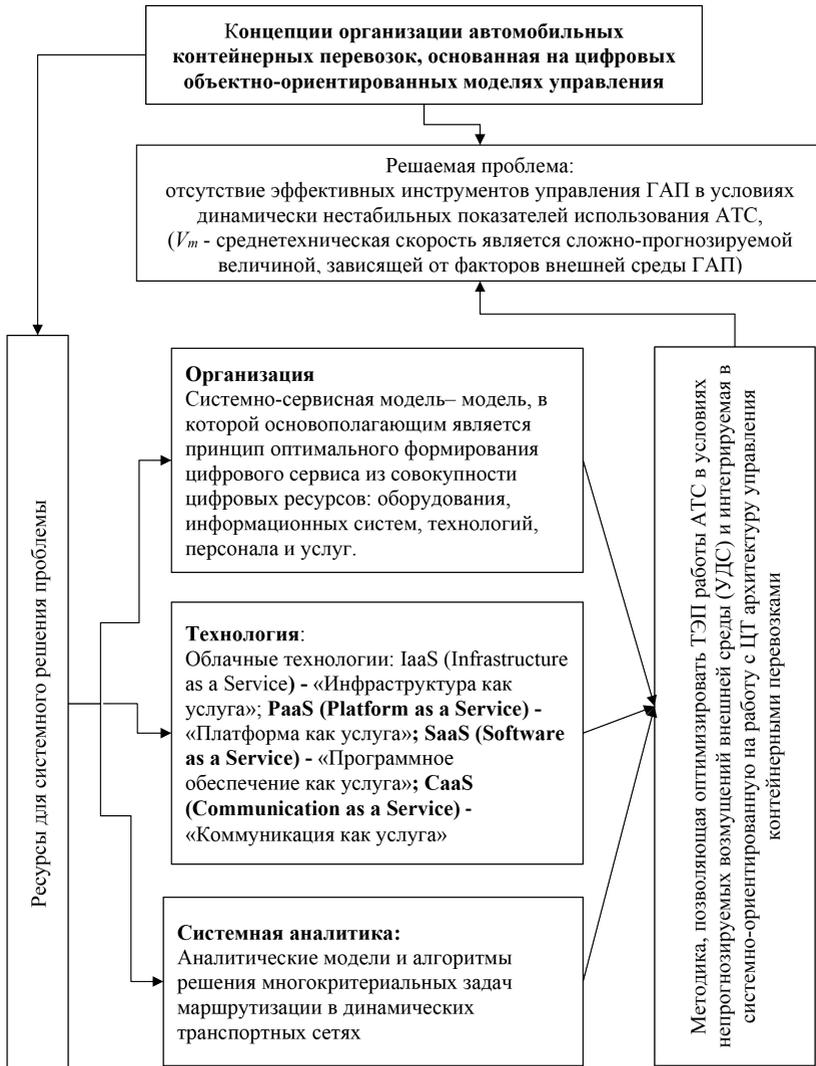


Рисунок 2. Схема реализации концепции организации автомобильных контейнерных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления

получим,

$$\alpha = \frac{1}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{x_j^{**}}{x_j^{**} - x_j^*} \right)}. \quad (4)$$

2. Если значения искомым коэффициентов связаны с некоторыми номинальными значениями или предельно допустимыми, например, ограничение скорости движения автомобиля, грузоподъёмность автомобиля и т. д. Тогда для тех показателей, которые соответствуют повышению эффективности процесса следует применять выражение:

$$\psi_j^{(2)} = \frac{\frac{1}{x_j^0 - x_j^*}}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{x_j^0 - x_j^*} \right)}. \quad (5)$$

Тогда для тех показателей, которые соответствуют понижению эффективности процесса следует применять выражение:

$$\psi_j^{(3)} = \frac{\frac{1}{x_j^{**} - x_j^0}}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{x_j^{**} - x_j^0} \right)}, \quad (6)$$

где x_j^0 – номинальное значение показателя.

Тогда выражение (2) будет выглядеть следующим образом:

$$\psi_j^{(1)} = \frac{1}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{1 - \frac{x_j^*}{x_j^{**}}} \right)} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{1 - \frac{x_j^*}{x_j^{**}}} \right)}. \quad (7)$$

Сравнивая выражения (2) и (7), можно увидеть, что основная разница в подходе к определению коэффициента «веса» состоит в том, что во втором случае значения коэффициентов обратно пропорциональны разностям соответствующих номинальных и предельно допустимых значений показателей, а в первом случае их значения обратно пропорциональны величине

колебаний показателя в области определения и не зависят от текущего значения показателя.

3. Аналитические модели определения коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя ТЭП

В исследовании производится трансформация традиционного состава показателей, определяющих производительность работы АТС:

$$P = f(T_n; l_{ze}; \beta; q; \gamma; t_o; t_{nb}; t_{mn}; t_{on}; L_{обц}). \quad (8)$$

При этом исключается показатель среднетехническая скорость движения, но определяется фактическая средняя скорость движения АТС на каждом отдельном маршруте (V_ϕ). При расчёте производственной программы по эксплуатации АТС может применяться показатель средняя фактическая скорость движения АТС (\bar{V}_ϕ). Далее формируются массивы данных по каждому показателю для каждого отдельного маршрута, исходя из значений фактических ограничений.

Приведем пример формирования базы данных ограничений, учитывающей все виды простоев АТС на маршруте – t_{n_j} ($j = 1, m$)

$$\left. \begin{array}{l} t_{n_{11}}^{min} \leq t_{n_{11}} \leq t_{n_{11}}^{max} \\ \dots \\ t_{n_{ij}}^{min} \leq t_{n_{ij}} \leq t_{n_{ij}}^{max} \\ \dots \\ t_{n_{mm}}^{min} \leq t_{n_{mm}} \leq t_{n_{mm}}^{max} \end{array} \right\}. \quad (9)$$

Далее по формулам 2...7 определяются коэффициенты вкладов (α_{ij}) или весовые коэффициенты для каждого из показателей (ВКП), из которых формируется матрица эффективности ВКП для всех планируемых маршрутов в соответствии с существующими заявками на перевозки грузов (таблица 1).

Таблица 1. Таблица ВКП

Показатель	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние их эффективность системы			
	t_d	t_{nb}	...	t_{nn}
№ маршрута				
1	α_{ij}	α_{ij}	...	α_{ij}

Окончание табл. 1

Показатель \ № маршрута	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние их эффективность системы			
	t_d	t_{nv}	...	t_{nn}
2	α_{ij}	α_{ij}	...	α_{ij}
...
k	α_{ij}	α_{ij}	...	α_{ij}
Целеполагание в системе	max	min	min	opt

На основании данных таблицы 1 формируется матрица распределений пропорций влияния ВКП показателей на себестоимость перевозок ГАП (таблица 2).

Таблица 2. Матрица распределений пропорций влияния ВКП показателей на себестоимость ГАП

Показатель \ № маршрута	Матрица распределений пропорций влияния ВКП показателей на себестоимость ГАП			
	t_d	t_{nv}	...	t_{nn}
1	s_{ij}	s_{ij}	...	s_{ij}
2	s_{ij}	s_{ij}	...	s_{ij}
...
k	s_{ij}	s_{ij}	...	s_{ij}
Целеполагание в системе	max	min	...	opt

На основании полученных данных определяется эффективность каждого маршрута в количественных оценках и производится аналитическая оценка влияния каждого показателя на общую эффективность системы. Полученное

решение в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов будет искомым решением поставленной задачи оптимизации:

$$\|c_{ij}\| = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & & & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

4. Методика расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП

Исходя из условий перевозки, определяются фактические базы ограничений по величине фактической скорости движения (для каждого маршрута), и номинальной грузоподъёмности автомобиля (для каждого автомобиля) по формулам 2 ... 7.

Формируются таблицы весовых коэффициентов распределения вкладов в эффективность системы для каждого показателя (таблица 3...5).

- α_{ij} – ВКП, учитывающие временные показатели;
- β_{ij} – ВКП, учитывающие возможные ограничения скорости движения;
- γ_{ij} – ВКП, учитывающие ограничения грузоподъёмности автомобиля;

Таблица 3. ВКП, учитывающие временные показатели

Показатель \ № маршрута	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние их эффективность системы			
	t_d	$t_{пв}$...	$t_{пн}$
1	α_{11}	α_{12}	...	α_{1n}
2	α_{21}	α_{22}	...	α_{2n}
...
k	α_{m1}	α_{m2}	...	α_{nm}
Целеполагание в системе	max	min	min	opt

Таблица 4. ВКП, учитывающие возможные ограничения скорости движения по различным видам УДС с учетом существующих постоянных и временных ограничений

Показатель № маршрута	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние их эффективность системы			
	$\bar{V}_\phi < 30$ км/ч	$\bar{V}_\phi < 50$ км/ч	...	$\bar{V}_\phi < 120$ км/ч
1	β_{11}	β_{12}	...	β_{1n}
2	β_{21}	β_{22}	...	β_{2n}
...
k	β_{m1}	β_{m2}	...	β_{nm}
Целеполагание в системе	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>

Таблица 5. ВКП, учитывающие возможные ограничения грузоподъемности АТС по конструктивным характеристикам или с учетом существующих постоянных и временных ограничений УДС

Показатель № маршрута Тип АТС	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние их эффективность системы			
	$\gamma_T < 3$ т	$\gamma_T < 6$ т	...	$\gamma_T < 20$ т
1	γ_{T11}	γ_{T12}	...	γ_{T1n}
2	γ_{T21}	γ_{T22}	...	γ_{T2n}
...
k	γ_{Tm1}	γ_{Tm2}	...	γ_{Tnm}
Целеполагание в системе	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>

Далее по известным методикам и с учетом фактических данных о времени оборота рассчитываются фактические показатели использования подвижного состава по каждому маршруту и результативные показатели ГАП. По сформированным таблицам ВКП распределения вкладов отдельных показателей определяется эффективность каждого маршрута в заданной системе ограничений и целеполагания. Таким образом, формализуется первый иерархический уровень в системе оценки влияния фактических показателей работа АТС на эффективность ГАП:

$$\left\{ \begin{array}{l} \|\mathcal{D}_i^\alpha\| = \begin{pmatrix} \mathcal{D}_1^\alpha \\ \mathcal{D}_2^\alpha \\ \dots \\ \mathcal{D}_m^\alpha \end{pmatrix} \\ \|\mathcal{D}_i^\beta\| = \begin{pmatrix} \mathcal{D}_1^\beta \\ \mathcal{D}_2^\beta \\ \dots \\ \mathcal{D}_m^\beta \end{pmatrix} \\ \|\mathcal{D}_i^\gamma\| = \begin{pmatrix} \mathcal{D}_1^\gamma \\ \mathcal{D}_2^\gamma \\ \dots \\ \mathcal{D}_m^\gamma \end{pmatrix} \end{array} \right. . \quad (11)$$

Решение первой задачи позволяет формализовать второй уровень иерархической системы определения эффективности ГАП. При этом задача определения оценки влияния фактических показателей использования АТС может решаться не только по трём видам ограничений, накладываемых внешней средой, но учитывать их достаточно большое количество:

$$\|\mathcal{D}_i^{\alpha,\beta,\dots,\gamma}\| = \begin{pmatrix} \mathcal{D}_1^\alpha & \mathcal{D}_1^\beta & \dots & \mathcal{D}_1^\gamma \\ \mathcal{D}_2^\alpha & \mathcal{D}_2^\beta & \dots & \mathcal{D}_2^\gamma \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathcal{D}_m^\alpha & \mathcal{D}_m^\beta & \dots & \mathcal{D}_m^\gamma \end{pmatrix} . \quad (12)$$

Аналитическое решение многокритериальных задачи первого и второго уровня аналогично и выполняются с применением методов векторной оптимизации. Принципиальным отличием между уровнями решения является следующее: на первом уровне определяются дифференцированные оценки по отдельным измерителям (время, скорость, грузоподъёмность АТС и т. д), а на втором уровне производится комплексная оценка эффективности орга-

низации процесса перевозок по совокупности исследуемых параметров. Решение оформляется в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов, которые оценивают величину негативного и/или позитивного влияния исследуемого показателя:

$$\|c_{ij}^{\Pi}\| = \begin{pmatrix} c_{11}^{\Pi} & c_{12}^{\Pi} & \dots & c_{1n}^{\Pi} \\ c_{21}^{\Pi} & c_{22}^{\Pi} & \dots & c_{2n}^{\Pi} \\ \dots & & & \dots \\ c_{m1}^{\Pi} & c_{m2}^{\Pi} & \dots & c_{mn}^{\Pi} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Разработанный научно-методический подход к исследованию показателей ГАП позволит реализовать важнейшее средство достижения эффективности сервисно-ориентированной модели управления – производить объективную оценку организации ГАП и управлять ресурсами системы для повышения её эффективности.

5. Результаты апробации методики расчёта производственной программы по эксплуатации для целей исследования эффективности системы ГАП

Апробация методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС производилась на маршрутах контейнерных перевозок, опираясь на данные ООО «БЭДФОРД ГРУПП СПБ», в целях исследования эффективности разработанной модели определения ТЭП. В таблице 6 и на рисунке 3 приведены данные, позволяющие судить о преимуществе в применении разработанной сервисно-ориентированной модели расчёта производственной программы по эксплуатации ГАП в целях оптимального планирования.

Принципиальным отличием между приведенными решениями является следующее: во втором случае (ряд 2 на рисунке 3) определяются дифференцированные оценки по отдельным измерителям (время, скорость, грузоподъёмность АТС и т. д) и производится комплексная оценка эффективности организации процесса перевозок по совокупности исследуемых параметров. Решение оформляется в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов, которые позволяют оценить величину негативного и/или позитивного влияния исследуемого показателя и перераспределить провозные возможности АТП в соответствии с фактической ситуацией на УДС.

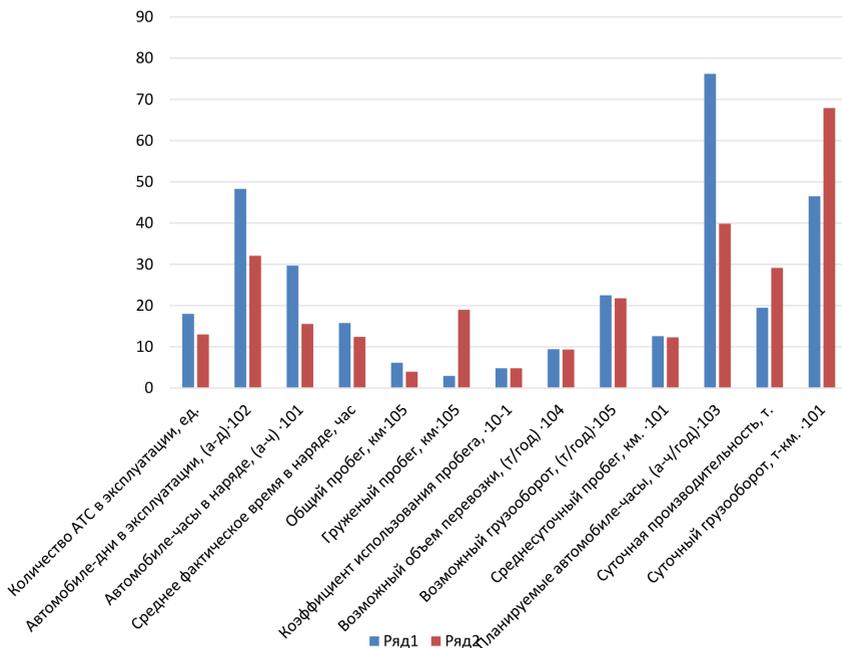


Рисунок 3. Сравнение результативных показателей работы АТС при применении традиционной модели определения производственной программы и разработанной сервисно-ориентированной модели.

Таблица 6. Сравнение результативных показателей работы АТС при применении традиционной модели определения производственной программы и разработанной сервисно-ориентированной модели

Показатель	Значение показателя	
	Аналог	Проект
Количество АТС в эксплуатации, ед.	18	13
Автомобиле-дни в эксплуатации, (а-д) · 10 ²	48,3	32,07
Автомобиле-часы в наряде, (а-ч) · 10 ¹	29,7	15,56
Среднее фактическое время в наряде, час	15,77	12,42
Общий пробег, км · 10 ⁵	6,13	3,97

Окончание табл. 6

Показатель	Значение показателя	
	Аналог	Проект
Груженный пробег, км·10 ⁵	2,94	18,98
Коэффициент использования пробега, ·10 ⁻¹	4,8	4,8
Возможный объем перевозки, (т/год) ·10 ⁴	9,41	9,34
Возможный грузооборот, (т/год) ·10 ⁵	22,50	21,78
Среднесуточный пробег, км. ·10 ¹	12,6	12,3
Планируемые автомобиле-часы, (а-ч/год) ·10 ³	76,21	39,84
Суточная производительность, т.	19,47	29,14
Суточный грузооборот, т-км. ·10 ¹	46,5	67,9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ состояния и темпов развития в современных условиях ГАП позволил установить, что применяемые в настоящее время методики управления ГАП не решают вопрос возможности активного или проактивного управления ГАП.

Установлено, что для того, чтобы приблизиться к объективному распределению провозных возможностей ГАП в сложных динамических системах, необходимо производить планирование на основе анализа конкретных отдельных заявок на транспортное обслуживание, исходя из конкретных условий перевозок по каждой заявке: расстояний доставки грузов, времени простоя под погрузочно-разгрузочными операциями, а также прогноза состояния парка и выпуска машин, показателей использования грузоподъемности, пробега и других эксплуатационных показателей. Поэтому переход на новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом, обязательными элементами которого являются использование в процессе управления современного ПО, автоматизирующего процедуры принятия решений при регулировании перевозочного процесса.

Обосновано, что основной проблемой перехода на цифровые модели управления является отсутствие эффективных инструментов управления ГАП в условиях динамически нестабильных показателей использования АТС, именно V_m (среднетехническая скорость) в современных условиях яв-

ляется сложнопрогнозируемой величиной, зависящей от факторов внешней среды ГАП. Данный класс задач решается с теории информационного взаимодействия в сложных динамических системах.

Для достижения цели исследования, направленной на решение указанных проблем при планировании ГАП были решены следующие задачи.

Разработана концепция организации автомобильных контейнерных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления. Основой разработанной концепции являются активно развивающиеся в современных интеллектуальных транспортных системах организационные, технологические и научно-методологические достижения и разработки. Главное преимущество системной сервисной модели (ССМ) заключается в том, что продуктом деятельности ЦТ, предоставляемым бизнесу, является не набор ЦТ-компонентов, не информационная система, а возможность пользоваться определенной функцией, обладающей заданными характеристиками (уровнями сервиса) и содействующей достижению заданной цели.

Разработана аналитическая модель сервисно-ориентированной методики определения технико-эксплуатационных показателей при организации ГАП с учетом актуальных требований:

- возможность применения в методике функции «поминутный контроль местоположения АТС и груза»;
- возможность регулярного обновления ТЭП на основе получения «Он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок;
- возможность автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте;
- возможность формирования результативных ТЭП в виде баз данных, позволяющих анализировать результативные ТЭП выполнения транспортной работы в различных форматах по любому интересующему периоду и т. д.

Разработан научно-методический подход к определению показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий и содержащей:

- аналитическую модель определения управляющих коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя среднетехническая скорость;
- аналитическую модель применения комплекса ограничений, накладываемых на варьируемые показатели на установленном интервале времени, определяемым периодом исследования.

Предложенный научно-методический подход позволил разработать алгоритм, положенный в основу методики организации ГАП, позволяющий реализовать возможность цифровых технологий и состоящий из трех основных этапов:

- Формирование базы исходных данных показателей на базе протокола маршрутизации и реализующего его ПО, предполагающего возможность применения «он-лайн»-данных о состоянии процесса при выборе эффективного действия и при наличии стохастической неопределённости исследуемых показателей.

- Формирование состава показателей, исключая показатель среднетехническая скорость движения, но предполагающий расчёт фактической средней скорости движения АТС на каждом отдельном маршруте (V_{ϕ}).

- Постановка задачи и решение многокритериальной задачи оптимизации анализируемой системы ГАП в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов.

Произведена апробация разработанной методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП, предназначенной для:

- Определения количества автомобилей, необходимого для выполнения объема перевозок по планируемым заявкам, учитывая фактическую производительность конкретного автомобиля на каждом отдельном маршруте.

- Установления фактических показателей использования АТС на маршрутах с учетом влияния внешних условий перевозки.

- Анализа информационных ситуаций влияния внешней среды на результативные показатели и оперативного корректирования оцениваемой эффективности процессов эксплуатации АТС.

Сравнение результативных показателей работы АТС при применении традиционной модели определения производственной программы и разработанной сервисно-ориентированной модели показало возможность повышения производительности работы АТС на 25...30 % в зависимости от внешних условий применения. Данное обстоятельство позволяет рекомендовать данную методику для распределения провозных возможностей АТП с максимальной степенью эффективности.

Разработанный научно-методический подход к исследованию показателей ГАП позволит реализовать важнейшее средство достижения эффективности сервисно-ориентированной модели управления – производить объективную оценку организации ГАП и управлять ресурсами системы для повышения её эффективности.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ:

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:

1. Егоров, В. Д. Методика расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисных моделей управления / В. Д. Егоров // Вестник гражданских инженеров. 2021. №6 (89). С. [в печати]. (0,68 печатных листа).

2. Егоров, В. Д. Математические модели управления транспортными потоками в интеллектуальных транспортных системах/ А. В. Терентьев, И. В. Арифиллин, В. Д. Егоров, А. Ю. Андреев// Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. 2021. №1. С. 46–50. (0,15 печатных листа).

3. Егоров, В. Д. Алгоритмы маршрутизации в дорожно-транспортной системе/ А. Ю. Андреев, В. Д. Егоров, А. В. Терентьев// Вестник гражданских инженеров. 2021. №2 (85). С. 181–188. (0,33 печатных листа).

4. Егоров, В. Д. Математические модели принятия решений в интеллектуальных транспортных системах/ Терентьев А. В. Арифиллин И. В., Андреев А. Ю., Егоров В. Д.// Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 1(64). С. 106–113. (0,25 печатных листа).

Публикации в изданиях, индексируемых международной системой цитирования Scopus и Web of Sciens

5. Vladimir Egorov. Model for determining optimal routes in complex transport systems/Alexey Terentyev, Maria Karelina, Vladimir Egorov, Andrey Andreev, Kazem Reza Kashyzadeh// Transportation Research Procedia, Volume 57, 2021, Pages 679–687. (0,22 печатных листа).

6. Vladimir Egorov. Digital services as tools for implementing service-oriented architecture in transport systems/Alexey Terentyev, Andrey Andreev, Vladimir Yegorov, Ayub Omarov// Transportation Research Procedia, Volume 57, 2021, Pages 672–678. (0,21 печатный лист.)

Программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию

7. Егоров В. Д. Программа для определения оптимальных маршрутов транспортных средств в динамически изменяющихся условиях внешней среды / Андреев А. Ю., Егоров В. Д., Терентьев А. В., Евтюков С. А. //

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. Номер свидетельства: № 2021667592, Страна: Россия, 2021 г. Дата регистрации: 01 ноября 2021 г.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 23.12.2021. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ 141.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

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