

На правах рукописи



ТИМОХОВЕЦ ВЕРА ДМИТРИЕВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЛИЧНО – ДОРОЖНОЙ СЕТИ
КРУПНЫХ ГОРОДОВ**

Специальность 05.23.11 – Проектирование и строительство дорог,
аэродромов, метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Омск – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет».

Научный руководитель: **Тестешев Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Поспелов Павел Иванович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно – дорожный государственный технический университет (МАДИ)», заведующий кафедрой «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» (г. Москва).

Бурлуцкий Андрей Александрович, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно – строительного университет», доцент кафедры «Автомобильные дороги» (г.Томск).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт – Петербургский государственный архитектурно - строительный университет» (г. Санкт – Петербург).

Защита диссертации состоится «22» октября 2020 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета ВАК РФ Д 212.250.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно – дорожный университет (СибАДИ)» по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, ауд. П. 3124.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «СибАДИ» и на сайте университета по адресу: <https://sibadi.org/about/units/institut-magistratury-i-aspirantury/studies/dissertations/63296/>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направлять в диссертационный совет по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5. Тел. (3812) 65-03-23. Копии отзыва просим прислать на e-mail: sibadisemenova@yandex.ru

Автореферат разослан « 03 » сентября 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



Семенова
Татьяна Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Объективные закономерности развития городов Российской Федерации изменяют уклад жизни и характер деятельности людей. Крупные города становятся привлекательными для большинства групп населения, что способствует естественной миграции и формирует инфраструктуру городов.

В процессе развития улично-дорожной сети: при проектировании реконструкции (перераспределении объемов движения, назначении числа полос движения, усилении дорожной одежды) и проектировании улиц-дублеров (расчете геометрических параметров и дорожной одежды) в крупных городах, а также при организации дорожного движения (особенности изменений движения в течение суток, организации реверсивного движения) – необходима разработка прогрессивных методов, повышающих полноту и достоверность информации, обосновывающей проектные решения, точность расчетов и пропорциональное развитие транспортных систем, основанных на репрезентативных данных о параметрах транспортного потока.

При изучении закономерностей распределения транспортных потоков Я.В. Хомяк сформулировал теорию определения интенсивности движения от плотности, применимую в диапазоне, за пределами которого интенсивность движения принимает отрицательные значения.

Одним из основателей закономерностей движения автомобилей на многополосных автомобильных дорогах является А.Н. Красников. Автором выявлено влияние многополосности, дорожных условий и состава транспортного потока на основные технико-эксплуатационные характеристики для конкретных транспортных объектов.

Более поздними являются совместные исследования В.В. Сильянова и В.М. Еремина, в которых зависимости плотности обгонов от интенсивности и плотности движения изучены с помощью имитационного моделирования по двухполосной дороге на основе обобщенной блок-схемы функционирования агрегативной системы. Данные исследования были проведены на загородных автомобильных дорогах.

Г.А. Менделев установил зависимость скорости движения транспортного потока от уровня загрузки, которая дает возможность определить необходимую пропускную способность участка дороги и соответствующую ей оптимальную скорость движения, а также обосновал возможность прогнозирования изменения интенсивности загрузки улично-дорожной сети во времени. Существенным недостатком в рассматриваемых трудах Г.А. Менделева является отсутствие разработанных зависимостей.

Также теоретическую основу научной работы составили труды различных направлений теории транспортных потоков. Связь статических и динамических характеристик транспортных потоков рассмотрена в работах

В.М. Трибунского, Ф. Хейта, Д. Дрю, В.В. Семенова, В. Маркуца, А.В. Гасникова и других ученых.

Предпосылками исследования явилось недостаточное количество данных об объемах движения и особенностях их распределения, полученных за последнее десятилетие. Основные исследователи в области проектирования разрабатывали зависимости интенсивности движения от плотности транспортных потоков, исходя из существующей ситуации на улично-дорожной сети, для загородных дорог.

Степень разработанности темы исследования. Использование методов получения данных о состояниях транспортного потока, применимых для отдельно взятой улицы, не отвечают требованиям современных городов. Появляется необходимость разработки оперативного метода получения информации с минимальными ресурсными затратами и исследования возможности проектирования улично-дорожной сети на основе метода дистанционного мониторинга транспортных потоков, основанного на дешифровке онлайн-снимков с применением Интернет-ресурсов. В диссертации автором сравниваются методы изучения транспортных потоков, в которых выявлено отсутствие детального исследования улично-дорожной сети как сетевого объекта.

Основная идея работы состоит в теоретическом и экспериментальном обосновании и совершенствовании методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожных сетей крупных городов.

Объектом исследования являются параметры транспортного потока, обосновывающие проектные решения по проектированию улично-дорожной сети.

Предмет исследования – совершенствование методов повышения эффективности функционирования транспортных сооружений, удобства, безопасности и экологичности движения.

Целью диссертационной работы является совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов.

Цель исследования предполагает решение следующих задач:

1. Выполнить анализ проблематики методов мониторинга транспортного потока в крупных городах Российской Федерации.
2. Обосновать теоретические предпосылки исследования транспортного потока на основе дистанционного наблюдения при проектировании улично-дорожной сети.
3. Выполнить экспериментальные исследования по определению интенсивности движения как основного параметра транспортного потока для проектирования новых транспортных объектов и реконструкции существующих улиц и дорог.
4. Разработать рекомендации по применению дистанционного мониторинга транспортных потоков крупных городов Российской Федерации

на основе спутникового и видеонаблюдения для проектирования улично-дорожной сети, и обеспечения безопасности дорожного движения.

Методология и методы исследования. Теоретико-методологической базой являются постулаты теории транспортных потоков. Они заключаются в анализе режимов движения автомобилей в различных дорожных условиях с учетом их динамических возможностей, состава транспортного потока и психофизиологических особенностей водителей. В проведенных исследованиях применялись теоретический и расчетно-аналитический методы исследования.

Научная новизна.

1. Предложена методика разделения транспортных объектов по особенностям распределения интенсивности движения в течение суток в соответствии с разработанной типизацией улиц и городских дорог.

2. Выявлена возможность учёта факторов вариативности: полосности и состояния покрытия.

3. Предложены мультипараметрические уравнения, разработанные с использованием видеонаблюдения для определения параметров транспортного потока, необходимых при проектировании улично-дорожной сети.

4. Разработан программный продукт для определения интенсивности движения с целью повышения эффективности функционирования транспортных потоков и достоверности информации, обосновывающей проектные решения, точность расчетов и увеличение срока службы дороги.

Теоретическая значимость работы состоит в применении научно-обоснованных методов исследования, статистической обработке полученных данных, опытной проверке результатов, а также согласованности основных положений представленной работы с результатами исследований других авторов и постулатами теории транспортных потоков.

Практическая значимость работы заключается в повышении достоверности информации и сокращении затрат при решении проектных задач с применением разработанного программного продукта.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная типизация улиц и городских дорог, учитывающая транспортные и дорожные факторы.

2. Методика проведения мониторинга со знанием типа улицы, полученного с применением камер наружного наблюдения, с помощью online-снимка со спутника.

3. Мультипараметрические зависимости, учитывающие транспортные, дорожные и метеорологические факторы, базирующиеся на видеонаблюдении.

Степень достоверности научных положений, теоретических решений и полученных результатов обеспечивается соблюдением основных принципов математического моделирования и подтверждается адекватностью расчетных (полученных методом дистанционного

мониторинга) и экспериментальных данных (полученных методом натурных и видеоизмерений), расхождение между которыми не превышает 15%.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях в г. Томск (2016-2017 гг.), в г. Санкт-Петербург (2018 г.), в г. Владивосток (2018 г.) и внутривузовских конференциях в ТИУ (2014-2019 гг.). Основные результаты работы изложены в 14 научных статьях, в том числе 7 работах в рецензируемых научных журналах: 5 статей в изданиях перечня Scopus и Web of Science, 2 статьи в изданиях перечня ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Результаты исследования изложены на 95 страницах основного текста, включающего 33 рисунка, 24 таблицы, 22 приложения, список литературы состоит из 103 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена изучению проблем мониторинга транспортных потоков в крупных городах. На начальном этапе были определены характеристики исследуемых объектов и транспортных условий на них для проектирования улиц. Требования к безопасности и комфортабельности изменяются по показателям урбанистики и уровню развития городских инфраструктур. При сопоставлении численности населения и уровня автомобилизации в рассмотренных городах отмечен высокий уровень корреляции между показателями. При этом только в незначительном количестве случаев зарегистрирована стабилизация роста численности населения при дальнейшем росте уровня автомобилизации.

Инерция развития улично-дорожных сетей не соответствует темпам роста транспортной составляющей городов Российской Федерации, что приводит к трансформации заданной категоричности, невозможности безопасного перемещения с высокой расчетной скоростью и, как следствие, появлению значительных заторных явлений.

В настоящее время при проектировании транспортной сети используются такие показатели, как транспортная доступность, подвижность, время и средняя скорость перемещения населения. Системное изучение особенностей движения на улично-дорожной сети городов является основой рациональных и оптимальных градостроительных решений.

Неравномерность распределения численности населения в районах требует планировочных решений и системного подхода в процессе реализации инженерных задач различного уровня. Для обеспечения непрерывности процесса требуются разработка и усовершенствование информационно-аналитических методов, основанных на репрезентативных данных функционирования всей сети города. Указанные методы применимы на этапах проектирования улично-дорожной сети.

Данные, отвечающие современным условиям, могут быть получены при помощи системного мониторинга, выполняемого на перекрестках и перегонах между ними.

В процессе решения задач по проектированию сети улиц и городских дорог важнейшей является информация об интенсивности, составе и плотности транспортного потока, скорости движения автомобилей. Для решения масштабных задач при рассмотрении города, как сетевого объекта, в процессе проектирования улично-дорожной сети возникает необходимость мониторинга интенсивности движения на значительном количестве улиц одновременно.

В практике мониторинга в различных масштабах традиционно применяются такие способы, как ручной способ, учет с применением индуктивных датчиков движения, методы аэромониторинга с применением беспилотных или управляемых летательных аппаратов, фото- и видеофиксация.

Достоинством метода учёта при помощи наблюдателей является простота получения необходимой информации. Данный метод имеет множество недостатков, основным из которых является неприменимость в рамках мезо- и макромасштаба, из-за высокой трудоемкости.

Индуктивные датчики характеризуются возможностью автоматизированного учёта общей интенсивности движения и вида автомобиля. К их существенным недостаткам относятся: невозможность единовременного введения в систему улично-дорожной сети из-за большого количества автономных устройств; высокая стоимость одной единицы данного устройства и сложность его ремонта.

В настоящее время для целей проектирования улиц и городских дорог применяется метод аэрофотосъемки. К достоинствам метода можно отнести его универсальность, обусловленную значительной грузоподъемностью и широким диапазоном изменения скорости. К сдерживающим факторам использования метода аэрофотосъемки можно отнести: ограниченную площадь исследования и необходимость перемещения для съемки другого участка объекта.

В развитых европейских странах исследование в рамках макромасштаба возможно при помощи камер видеонаблюдения, в силу их работоспособности и наличия в необходимом количестве.

Для детального исследования параметров транспортных потоков и повышения скорости сбора информации о его характеристиках необходимо активное распространение сети камер видеонаблюдения.

Наиболее приемлемой для получения актуальной информации является общность методов видеомониторинга и аэрофотосъемки. Для получения репрезентативной картины помимо аппаратно-ресурсных возможностей телекоммуникационных систем необходимы данные, основанные на закономерностях, позволяющих преобразовывать статическую «картинку» в характеристики транспортного потока.

Для ещё более широкого охвата территории допустимо использование мониторинга посредством спутниковых снимков, что исключит основные недостатки аэрофотосъемки: ограниченную площадь исследуемой территории и необходимость финансирования аренды летательного аппарата. В диссертационном исследовании проведена оценка применимости методик дешифровки результатов мониторинга транспортных потоков на сетевых дорожных объектах в городских условиях; рассмотрены алгоритмы дешифровки результатов мониторинга транспортных потоков на сетевых объектах в городских условиях; выполнено сравнение фактических значений транспортного потока с полученными по функциональным зависимостям (таблица 1).

Таблица 1 – Диапазоны применимости методик дешифровки плотности транспортного потока в интенсивность движения

№	Автор	Год	Функциональные зависимости	Диапазон плотности, $\Delta\rho$	Диапазон интенсивности, ΔN	Δ , %
1	В.В. Сильянов	1977	$N_1 = 85 - 1,41\rho + 0,0052\rho^2$	0 - 90	0 - 100	275,3
			$N_2 = 75 - 1,3\rho + 0,0054\rho^2$		0 - 100	275,3
2	Я.В. Хомяк	1986	$N_1 = 85\rho - 1,41\rho^2 + 0,0052\rho^3$	0 - 100	0 - 1500	60,5
			$N_2 = 75\rho - 1,3\rho^2 + 0,0054\rho^3$		0 - 1300	60,5

Проверка актуальности указанных зависимостей была выполнена на основе расчетного эксперимента с учетом существующих объемов движения и транспортных условий, которая показала величину недопустимой погрешности полученных значений. Все проанализированные методики в целом применимы для исследования транспортных потоков и совершенствования методов мониторинга.

Во второй главе выполнено изучение параметров, определяемых с учетом интенсивности движения при проектировании улично-дорожной сети, а именно: категория дороги, уровень загрузки, суточная интенсивность движения, число полос движения и другие. Детальный анализ параметров представлен в п. 2.1 2 главы диссертационного исследования.

В основу исследования положено соотношение между интенсивностью, скоростью и плотностью транспортного потока (форм. 1):

$$N = \rho v, \quad (1)$$

где ρ – плотность транспортного потока;

v – скорость движения транспортного потока.

Данная формула может быть трансформирована в графическую зависимость, которая является основной диаграммой транспортного потока.

Основная диаграмма транспортного потока может быть подвержена трансформации в результате комплексного влияния сопутствующих факторов, при этом движение определяется различными функциональными зависимостями.

Критерием оптимальности, в процессе поиска автором, наиболее адекватного функционала зависимости интенсивности движения и плотности

потока явилась величина достоверности аппроксимации R^2 . При выборе оптимальной функциональной зависимости была принята полиномиальная функция второго порядка. Данный факт обусловлен тем, что интенсивность движения в определенный момент достигает максимального значения пропускной способности, и в этот момент интенсивность должна пойти на спад (рис.1).

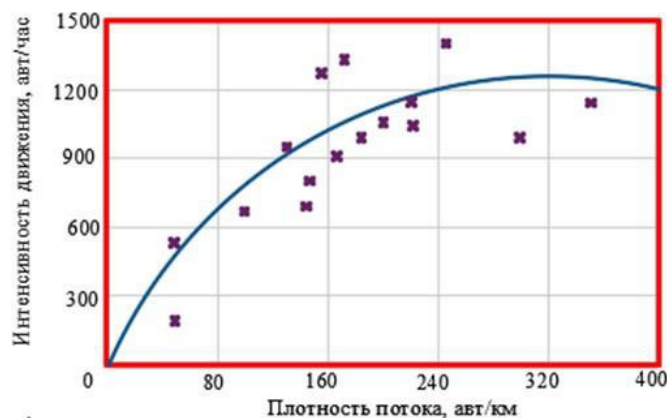


Рисунок 1. График зависимости интенсивности движения от плотности: полиномиальная второго порядка

Выбор зависимости подтверждается расчетами величины достоверности аппроксимации. Данные по расчету приведены в п.2.2 2 главы диссертационного исследования.

Факторы, оказывающие влияние на характер изменения интенсивности, не учтены в математических аппаратах, что обусловило необходимость разработки зависимостей в рамках настоящего исследования в последовательности: типизация характерных состояний покрытия → формирование банка данных интенсивности и плотности → классификация улиц и городских дорог → расчет интенсивности по мультипараметрическим уравнениям (рис. 2). Разработка мультипараметрических зависимостей необходима для повышения эффективности функционирования транспортной сети.

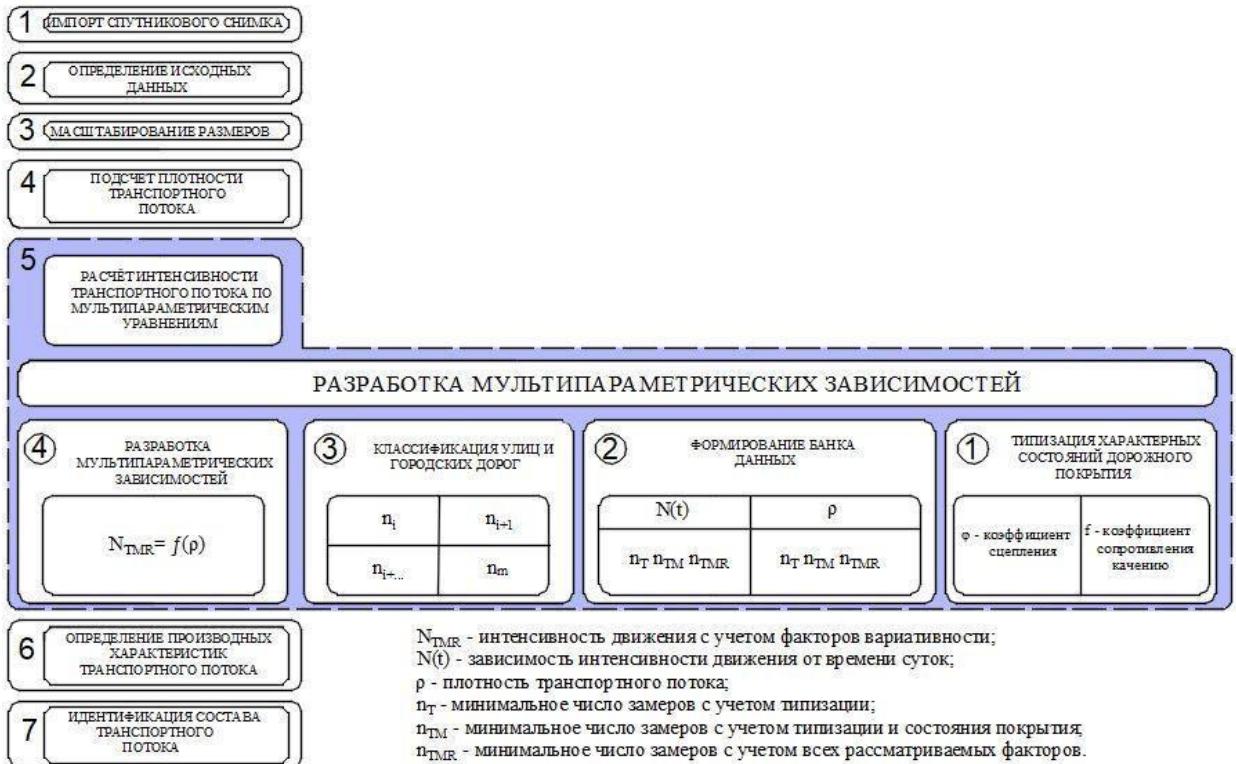


Рисунок 2. Разработка мультипараметрических зависимостей

Полученные результаты плотности потока, снятые с одного километра изображения, ввели в функциональные зависимости. Далее выполнялся расчет производных параметров транспортного потока. К производным параметрам транспортного потока автор отнес: скорость движения, уровень загрузки дороги и другие характеристики.

Количественная оценка графического контента (масштаба), осуществлялась через пространственное разрешение. При изучении данного параметра установлена зависимость пространственного разрешения от масштаба изображения, в связи с чем, был исследован вопрос изменения качества изображения при многократном увеличении спутникового снимка (рис.3).

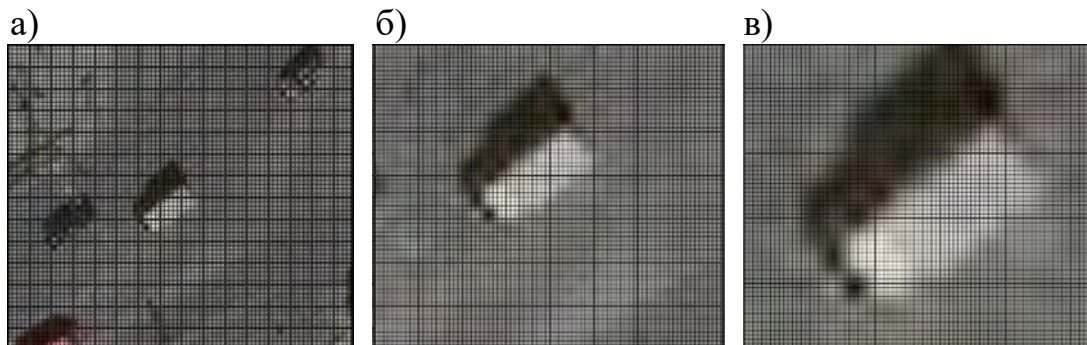


Рисунок 3. Многократное увеличение изображения спутникового снимка, взятого со спутника Landsat-8 в масштабах: а) – 1:600; б) – 1:300; в) – 1:200

Анализ показал, что при увеличении масштаба изображения до определенных значений возникают сложности определения типа автомобиля.

Анализ применения классификации улиц и городских дорог с целью исследования позволил установить параметры, определяющие категорию в рамках действующего свода правил, но в данном документе не учтена интенсивность движения.

В рамках диссертационного исследования, помимо учета часовой интенсивности, был рассмотрен вопрос дифференциации объектов улично-дорожной сети и особенностей распределения интенсивности в течение суток. В. Маркуц предложил бимодальный и унимодальный режимы распределения интенсивности, однако дальнейшего развития данная теория не получила.

При выявлении закономерностей, определяемых отклонением математического ожидания от среднего значения, использовался закон Гаусса. Выявленные закономерности позволяют корректно перейти от плотности к часовой интенсивности. Представленные графические зависимости наглядно демонстрируют отклонения фиксируемых значений по часам (рис.4):

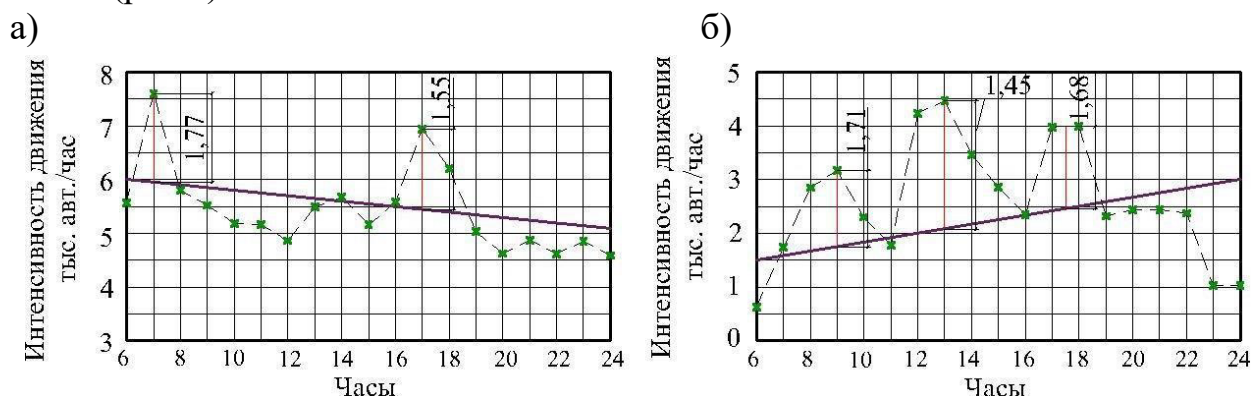


Рисунок 4. Графическое изображение математического ожидания: а) бимодальная модель (I тип); б) полимодальная модель (II тип)

Описание беспиковых убывающих графических зависимостей выполнялось построением линии регрессии через «облако» точек (рис.5):

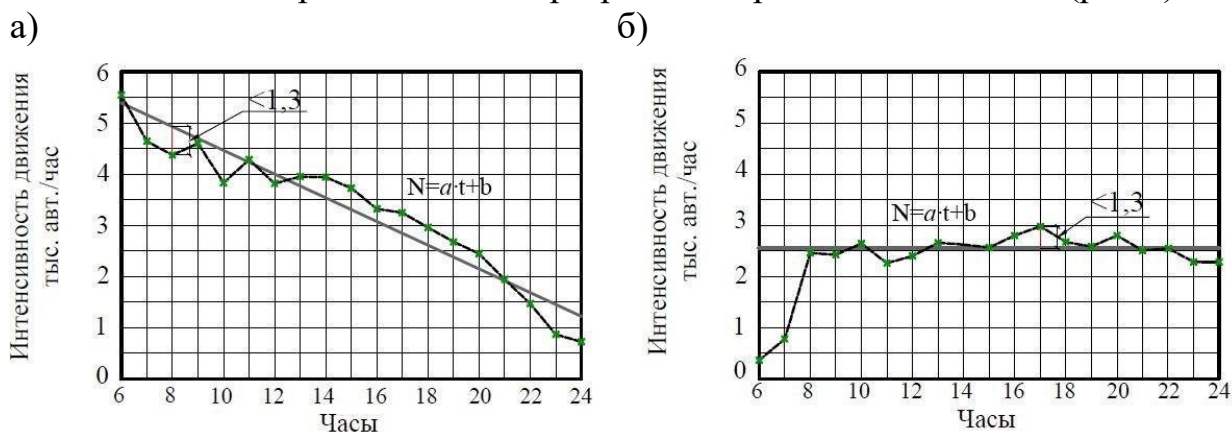


Рисунок 5. Линейная регрессия интенсивности движения во времени
а) регрессирующая (III тип); б) стабильная (IV тип)

В результате статистической обработки банка данных интенсивности движения установлены следующие типы с характерными особенностями:

- I тип – пиковая интенсивность движения в утренние и вечерние часы;
- II тип – пиковая интенсивность движения в утренние и вечерние часы, со «скачком» интенсивности в обеденные часы;
- III тип – равномерное изменение интенсивности на убывание от утренних часов к вечерним;
- IV тип – равномерная интенсивность в течении дня.

В соответствии с постулатами теории транспортных потоков и учётом разработанной типизации стала очевидной зависимость плотности (ρ) от особенности распределения интенсивности движения (N) в течение суток (форм. 2):

$$N = f(\rho_T), \quad (2)$$

где T – типизация городских улиц и дорог.

При детальном изучении особенностей изменения интенсивности в течение суток был проработан вопрос учета распределения автомобилей по полосам движения.

Анализ экспериментальных данных показал, что наблюдается существенное варьирование распределения автомобилей по полосам в течение суточного активного цикла города. Также отмечен низкий уровень корреляции распределения автомобилей в разных городах на улицах одного типа, что свидетельствует о необходимости мониторинга с учетом полосности каждого рассматриваемого транспортного объекта (форм.3).

$$N = f(\rho_{T,R}), \quad (3)$$

где R – количество полос движения.

В работе автором учтены климатические факторы, влияющие на состояние поверхности покрытия. Согласно исследованию А.П. Васильева пропускная способность существенно снижается в неблагоприятные (осенне-весенний и зимний) периоды, особенно при неблагоприятных погодноклиматических факторах.

Для оценки влияния отдельных параметров улиц на комплексный показатель их состояния определяет коэффициент обеспеченности расчётной скорости на каждом характерном участке. Наибольший диапазон изменчивости имеет такой показатель, как скользкость покрытия, формирующий коэффициент сцепления.

При разработке аппарата дешифровки спутникового снимка были выбраны расчетные состояния дорожного покрытия, к таким отнесены: сухое покрытие, мокрое покрытие, наледь и снежный накат. Вместе с тем стекловидный (черный) лёд, свежеснежный (рыхлый) снег, гололёд, гололедица, твердый налет не были учтены при дальнейшей разработке методики по причине низкой (меньше 2 %) вероятности их возникновения и

сложности идентификации на современном уровне оборудованности дорожно-строительных управлений крупных городов Российской Федерации.

С учетом фактора состояния дорожного покрытия зависимость основных характеристик транспортного потока приняла вид (форм.4):

$$N = f(\rho_{T,R,M}), \quad (4)$$

где M – состояние дорожного покрытия.

В третьей главе выполнен эксперимент, целью которого является совершенствование прогрессивных методов и средств математического моделирования для повышения полноты и достоверности информации, обосновывающей проектные решения, точность расчетов, и срок службы городских дорог, посредством разработки мультипараметрических зависимостей для каждого типа улиц с учётом факторов вариативности (полосности и состояния покрытия).

Сформулирован план и методика исследований интенсивности и плотности движения на улично-дорожной сети городов методами видео- и фотонаблюдения. Были выбраны входные и выходные параметры на основе сбора и анализа априорной информации. На подготовительном этапе были сформулированы условия для фиксации интенсивности (непрерывный мониторинг) и плотности движения (максимальное значение каждый час) в различных городах. Сроки реализации для каждой конкретной улицы составили 18 часов в сутки. Следующим пунктом в планировании эксперимента явилась статистическая обработка с выявлением интервалов времени с характерными значениями интенсивности по каждой из рассматриваемых улиц методом Г.В. Лейбница «Максимумов и минимумов» (типизация). Конечным этапом работы стало получение результатов и проверка их адекватности применительно к существующим условиям движения.

Новизна предложенного метода заключается в возможности использования как архивов, находящихся в базе, так и данных картографических сервисов, а также их преобразовании в первичные (интенсивность, скорость, плотность) и вторичные (уровень загрузки, общий модуль упругости и другие) параметры транспортного потока.

Помимо факторов вариативности минимальное количество экспериментов варьировалось в зависимости от численности населения рассматриваемого населенного пункта.

Исследования транспортных потоков выполняли в два этапа: в первой части – разработка зависимостей, во второй – определение параметров транспортного потока с применением спутникового мониторинга.

Проведены натурные (непосредственные) и дистанционные (видеонаблюдение) исследования транспортного потока в различных метеорологических и дорожных условиях.

С учетом типизации, состояния покрытия и количества полос определено минимальное число замеров параметров транспортного потока с

заданной надежностью методами математической статистики. Расчет числа замеров представлен в п. 3.3 3 главы диссертации (табл.2).

Таблица 2 – Минимальное число замеров интенсивности и плотности

Количество городов	Число замеров с учетом типизации, пт	Число замеров с учетом типизации и состояния покрытия, птм	Число замеров с учетом типизации, состояния покрытия и полосности, птмр
15	82500	660000	660000

В связи со снижением интенсивности в ночные часы диапазон фиксации исследуемых характеристик принят с 6:00 до 24:00.

Для достоверного прогнозирования и назначения мероприятий при проектировании улично-дорожной сети необходимо выполнять мониторинг четыре раза в неделю, восемь раз в месяц для каждого исследуемого транспортного объекта на основе видеомониторинга.

Типизация выполнена с отнесением конкретных объектов к тому или иному типу на основе закономерности распределения интенсивности в течение суточного активного жизненного цикла города.

В ходе набора базы данных о первичных и вторичных параметрах транспортного потока для повышения объективности снимаемых значений каждое состояние покрытия изучалось суммарно от 18 до 30 раз.

Для дальнейшего использования методики автором был изучен вопрос использования бесплатных ресурсов в годичном цикле, в результате исследования определена возможность получения 4 спутниковых снимков, при использовании платных ресурсов – 12 (табл. 3).

Таблица 3 – Частота обновления спутниковых снимков

Показатель	Бесплатные онлайн-ресурсы				Платные ресурсы		
Ресурсы	Google. Maps	Яндекс .Карты	Спутник. ру	USGS	GF-4	ALOS-3	LandSAT-8
Даты обновления за 2018 год	04.09.	16.11.	30.04.	27.06.	-	-	-
Периодичность	3-4 месяца				Снимки в режиме «реального времени»	60 дней + обработка 7 дней	16 суток + 4 дня обработка
Стоимость	4 снимка				12 снимков		
Возможность назначения даты мониторинга	Назначается независимо от заказчика				Назначается по запросу заказчика		

При интегрированном использовании платных и бесплатных ресурсов появляется возможность получения спутниковых снимков с оптимальной частотой.

По результатам экспериментальных данных были составлены диаграммы транспортного потока с учётом взаимного влияния факторов

вариативности (рис. 6). После нанесения значений разработаны уравнения зависимости интенсивности и плотности посредством использования программы MS Excel, далее методами математической статистики выполнено сравнение расчётных и фактических значений.

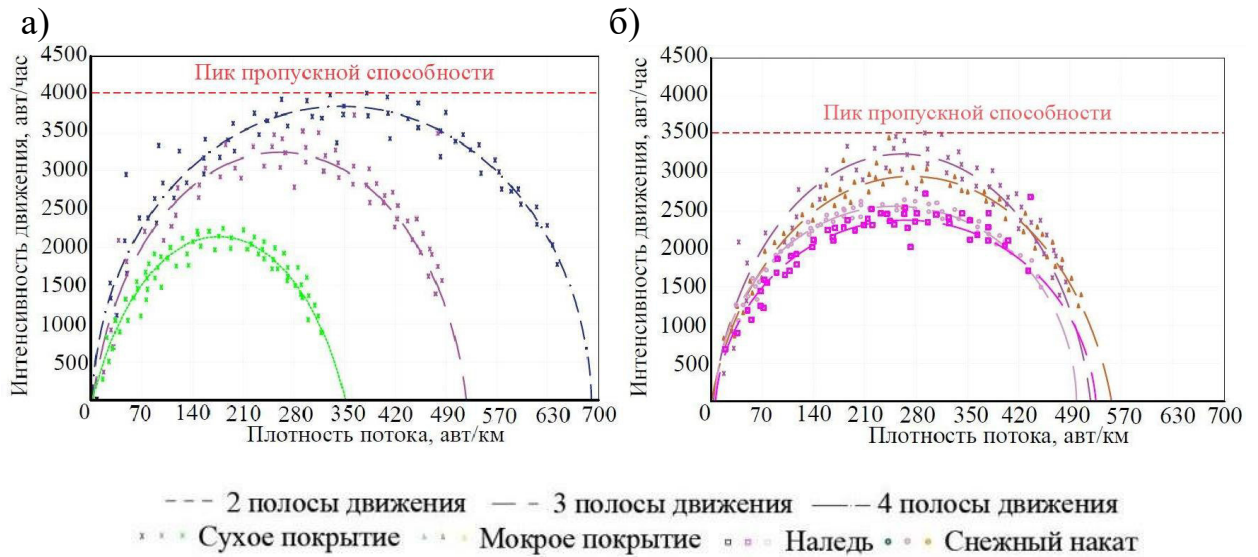


Рисунок 6. Диаграммы зависимости интенсивности и плотности движения (фрагмент)

а) различное количество полос; б) различные состояния покрытия

Построенные графики наглядно демонстрируют значительные колебания числовых значений статических и динамических характеристик транспортного потока при различных расчётных состояниях дорожного покрытия, что предопределяет совершенствование методов и средств математического моделирования.

Для выявления графических зависимостей, подчиняющихся общему закону распределения фиксированных значений для каждого типа, были разработаны мультипараметрические уравнения применительно к эталонным условиям, приводимым за счет функционала поправочных коэффициентов к расчетным состояниям.

Учет всех выбранных факторов представлен системой коэффициентов вариативных параметров, учитываемых подстановкой в базовое уравнение. Система коэффициентов и базовое уравнение получено методами математической обработки.

Математический аппарат мультипараметрических уравнений (форм. 6-9):

$$\text{а) для I типа: } N(\rho) = \frac{-0,0289 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^4 + 9,6731 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M} \quad (6)$$

$$\text{б) для II типа: } N(\rho) = \frac{-0,0285 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^2 + 13,316 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M} \quad (7)$$

в) для III типа:
$$N(\rho) = \frac{-0,0415 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^4 + 16,494 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M} \quad (8)$$

г) для IV типа:
$$N(\rho) = \frac{-0,0338 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^4 + 11,457 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M}, \quad (9)$$

где $P_{T,R}^M$ – коэффициент приведения фактического числа полос в одном направлении (R_j), состояния покрытия (M_j) и типа улиц (T_j) к эталонным значениям;

S_j^M – коэффициент приведения фактического состояния покрытия (M_j) и типа улиц (T_j) к эталонному значению.

Для проверки применимости всех разработанных уравнений была рассчитана средняя ошибка аппроксимации, которая демонстрирует точность соответствия теоретического распределения фактическим значениям исследуемых величин.

В четвертой главе систематизированы нормативные ссылки, расшифрованы основные термины и определения, сформирован банк данных, представлены рекомендации по дистанционному мониторингу транспортных потоков улично-дорожных сетей крупных городов.

Приведена последовательность применения предлагаемой методики: подробное изучение спутникового снимка и снятие статических данных, а именно: количества полос движения и плотности потока для дальнейшей дешифровки данных в динамические характеристики транспортного потока.

Структура определения динамических характеристик транспортных потоков на основе статических данных представлена на рисунке 7.

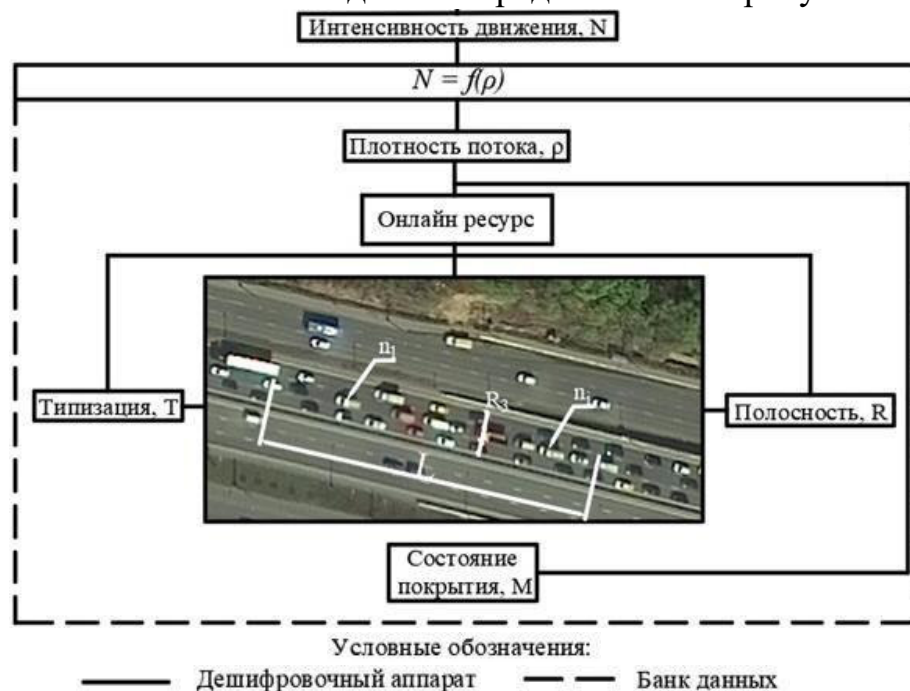


Рисунок 7. Структура определения интенсивности движения на основе статических данных

Для получения взаимосвязи параметров транспортного потока на основе собранных данных строятся графики зависимости интенсивности движения от плотности с учётом состояний дорожного покрытия и полосности исследуемого транспортного объекта.

С целью автоматизации процессов и выполнения всего цикла работ, связанных с дешифровкой материалов спутникового наблюдения, на основе разработанных мультипараметрических уравнений создан программный продукт, и проведена оценка экономической эффективности предлагаемой методики.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ применимости методов мониторинга и научных трудов по теории транспортных потоков позволил сформулировать актуальность рассматриваемой проблемы, подтвердить необходимость получения репрезентативных данных о параметрах транспортных потоков при рассмотрении города как сетевого объекта. Обоснована необходимость интеграции нескольких методов дистанционного мониторинга: аппаратно-ресурсных методов и разработки математической зависимости преобразования статической картины в динамическую с возможностью учёта объективных параметров улично-дорожной сети.

2. Установлен вид функции, который с наименьшей погрешностью (до 13,21 %) определяет уравнение транспортных потоков для каждого из разработанных типов улиц. Определена зависимость масштаба от разрешающей способности спутниковых снимков с целью идентификации транспортных потоков по составу. Разработана типизация улиц и городских дорог, классифицирующая транспортные и дорожные факторы, а также демонстрирующая особенности распределения интенсивности в течение суток для более точного ее определения. Выбраны значимые факторы, влияющие на изменение параметров транспортного потока, и разработана модель, учитывающая особенности жизненного цикла каждого сетевого объекта, полосность и состояние покрытия проезжей части.

3. Впервые разработаны мультипараметрические зависимости по определению интенсивности движения, учитывающие транспортные, дорожные и метеорологические факторы. Выполнено сравнение расчетных и фактических значений интенсивности, полученных методом видеонаблюдения по критерию аппроксимации, который демонстрирует работоспособность разработанных зависимостей, повышающих полноту и достоверность информации.

4. Разработан программный продукт, позволяющий автоматизировать процессы по определению параметров транспортных потоков на улично-дорожной сети крупных городов для реконструкции существующих объектов, строительства улиц-дублеров и организации дорожного движения на улицах и городских дорогах.

Направлениями и перспективами дальнейшего исследования являются разработка метода экспресс-типизации не исследованных улиц и адаптация выявленных зависимостей с целью их применения на улицах с нерегулярным движением.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Тестешев А.А., Тимоховец В.Д., Микеладзе Т.Г. Полипараметрические уравнения для дешифровки результатов дистанционного спутникового мониторинга транспортных потоков // Транспортное строительство – Москва, 2018. – Вып. 5 – С. 19-22 (ВАК)
2. Тимоховец В.Д., Ситников В.Н., Тестешев А.А., Сысуев Д.А. Типизация улиц и дорог крупнейших городов Российской Федерации для дистанционного спутникового мониторинга транспортных потоков // Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург, 2018. – Вып.2 (67) – С. 246 – 253 (ВАК)

Статьи в сборниках материалов конференций и других изданиях:

3. A.A. Testeshev, V.D. Timohovetz, AIP Conference Proceedings, 1800, 050006 (2017) (Web of Science)
4. Testeshev A.A., Timokhovets V.D. Mikeladze T.G. Development of multiparameter equations for satellite monitoring analysis of traffic flow. – Matec Web of Conferences with IF-0,12. - Tomsk, 2018. – 7 p (Web of Science)
5. A.A. Testeshev, V.D. Timohovez, T.G. Mikeladze. Identification of the Composition of Transport Streams for Remote Satellite Monitoring. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Vladivostok, 2019 (Web of Science)
6. A.A. Testeshev, V.D. Timokhovets, I.E. Loshchinina, Y.I. Chichilanova. The Study of Transport Systems of Urban Agglomerations of the Russian Federation by the Method of Remote Satellite Monitoring. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Vladivostok, 2019 (Web of Science)
7. A.A. Testeshev, V.D. Timohovez, T.G. Mikeladze. Development of harmonized multifactor mono-dependency to decipher satellite-based monitoring of traffic streams. Transportation Research Procedia – St. Petersburg, 2019. – 7 p (Web of Science)
8. Тимоховец В.Д., Сысуев Д.А., Тестешев А.А. Типизация улиц и городских дорог крупнейших городов РФ // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Тюмень, 2017. – Том 4. – С. 335-338 (РИНЦ)
9. Тимоховец В.Д., Микеладзе Т.Г. Оценка применимости существующей закономерности теории транспортных потоков для определения корреляции между плотностью и интенсивностью

- движения // Организация и безопасность дорожного движения. – Тюмень, 2018. – Том 1. – С. 144-149 (РИНЦ)
10. Тимоховец В.Д., Микеладзе Т.Г. Выбор оптимальных функциональных зависимостей для определения взаимосвязей между интенсивностью и плотностью транспортного потока // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Тюмень, 2018. – Том 4. – С. 289-291 (РИНЦ)
 11. Тимоховец В.Д., Сысуев Д.А. Выбор оптимального метода мониторинга транспортных потоков в условиях города // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Тюмень, 2018. – Том 5. – С. 210-211 (РИНЦ)
 12. Тимоховец В.Д., Чичиланова Я.И. Применение метода дистанционного спутникового мониторинга транспортных потоков для исследования параметров городской среды в рамках макромасштаба // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Тюмень, 2018. – Том 5. – С. 61-63 (РИНЦ)
 13. Тимоховец В.Д., Чичиланова Я.И. Разработка функциональной зависимости для определения оптимального скоростного режима транспортного потока // Организация и безопасность дорожного движения. – Тюмень, 2019. – Том 2. – с. 109-113 (РИНЦ)

Патенты и свидетельства:

14. Патент №2019611026 Российская Федерация, 18.01.2019. Лощинина И.Е., Тестешев А.А., Тимоховец В.Д. Определение интенсивности транспортных потоков на основе дистанционного спутникового мониторинга // Патент России №2019611026, 2019. Бюл.№1.

Тимоховец Вера Дмитриевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ
КРУПНЫХ ГОРОДОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ 2020 г.

Формат 60×90 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,25

Тираж 120 экз. Заказ № _____

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный
университет»

625001 г. Тюмень, ул. Володарского, 38