

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор — проректор по научной работе РУДН, профессор



Н. С. Кирабаев

2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации — Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) — на диссертационную работу Осетрова Евгения Сергеевича «Математические модели, методы и алгоритмы для прогнозирования пассажирских перевозок», представленную к защите в диссертационном совете Д 720.001.04 на базе Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертационной работы

Транспорт – это одно из ключевых средств развития экономики и социума, а его влияние на жизнь государства разнообразно и многопланово. Транспорт способствует прогрессивным географическим и структурным сдвигам в размещении производства и населения, росту производительности труда, повышению уровня жизни населения. Обеспечивая международное разделение труда, массовый туризм и культурный обмен, транспорт способствует крупным изменениям в экономике и культуре. С помощью транспорта углубляется специализация и расширяется кооперирование промышленного и сельскохозяйственного производств, укрепляется экономическое положение государства. Транспорт является основой эффективного развития экономики государства и регионов, поскольку выполняет коммуникативную функцию, обеспечивая тем самым интенсификацию товарообмена, рост производительных сил и рациональное распределение ресурсов между факторами производства (экономическими ресурсами, необходимыми для производства товаров и услуг).

Получение оперативной информации о состоянии и прогнозе изменений объемов пассажирских перевозок и спроса на транспортные услуги является актуальной задачей современного общества. Ее решение способствует удовлетворению потребностей населения в передвижении путем оптимального использования транспорта, повышает эффективность управления транспортной системой.

В качестве объекта исследования автором выбрано изменение объемов перевозок пассажиров Московским метрополитеном, а также ряд факторов, представленных в виде временных рядов с шагом наблюдения одни сутки.

Предметом исследования является разработка и оптимизация математических моделей, методов, алгоритмов и вычислительных схем, обеспечивающих достоверное прогнозирование изменений объемов перевозок пассажиров Московским метрополитеном в краткосрочной и среднесрочной перспективах.

В качестве основных математических моделей и их программного воплощения автором обоснован выбор использования искусственных нейронных сетей (ИНС) и сингулярно-спектрального анализа временных рядов для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования динамики их изменения.

Разработкам и применению математических моделей, а также их программное или аппаратное применение с использованием искусственных нейронных сетей для прогнозирования в различных отраслях и областях знаний уделено большое внимание в трудах многих российских и зарубежных исследователей: Беркинблит М.Б., Вороновский Г.К., Голубев Ю.Ф., Горбань А.Н, Еремин Д.М. Каллан Р., Круглов В.В., Миркес Е.М., Осовский С., Савельев А.В., Сигеру О., Марзуки Х., Тадеусевич Р., Боровик Б., Терехов В.А., Ефимов Д.В., Уоссермен Ф., Хайкин С.

Теоретические аспекты изучения возможностей применения искусственных нейронных сетей для построения моделей, описывающих и характеризующих изменения состояний транспортных систем, прогнозирования их развития, которые имеют механизм адаптации к условиям инфраструктуры городов и регионов, рассмотрены в работах отечественных и зарубежных авторов: Пронин С.В., Murat Cuhadar, Iclal Cogurcu, K.S. Swarnalatha, Глушков С.В., Барский А.Б., Rodrigue J.P., Smith, B.L., Demetsky M.J., Vlahogianni E.I., Dougherty M., Ledoux C., Yin H., Wong SC., Zhejun G.

Практическая реализация подходов и проведение первых экспериментов, связанных с применением искусственных нейронных сетей при прогнозировании объемов пассажирских перевозок (в том числе железнодорожного транспорта), рассмотрено в результатах прикладных исследований отечественных и зарубежных авторов: Апатцев В.И.,

Ali Payidar Akgungor, Nam, K., Schaefer, T., Robert L. Cook, Tsung-Hsien Tsai, Fu L., Rilett L.R., Ishak S., Kotha P., Claveria O., Zhang G.P.

Таким образом, многие ученые своими исследованиями подтверждают, что использование искусственных нейронных сетей в транспортной отрасли является средством повышения эффективности управления сложными динамическими, социально-экономическими и организационными системами различных отраслей деятельности и самого разного масштаба. И в то же время, как показывает проведенный автором анализ существующих методологических подходов к прогнозированию динамики объемов пассажирских перевозок недостаточно развит или почти не применяется интегрированный подход, с использованием искусственных нейронных сетей и сингулярно-спектрального анализа, к решению динамических задач прогнозирования временных рядов, характеризующих объем пассажирских перевозок и влияющих на него факторов в условиях неопределенности на краткосрочный и среднесрочный периоды времени.

Таким образом, прогнозирование пассажирских перевозок является актуальной задачей, как в академической, так и в прикладной среде во всём мире, а все вышеперечисленное определяет актуальность, своевременность и степень разработанности темы диссертационного исследования Осетрова Е.С., направленного на разработку новых математических моделей, методов, алгоритмов и комплексов программ, предназначенных для прогнозирования объемов пассажирских перевозок и их применению в решении конкретных задач.

Для достижения поставленной в диссертационной работе цели соискателем были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Провести анализ применяемых на практике методов и подходов для определения, оценки изменений и прогнозирования пассажирских перевозок.
2. Разработать методологический подход к построению математической модели прогнозирования изменений объемов пассажирских перевозок, основанный на использовании в качестве исходных данных временных рядов динамики объема пассажирских перевозок и ключевых факторов, на него влияющих, в том числе, энергопотребления, как показателя социальной и экономической активности населения в рассматриваемом регионе или агломерации.
3. Провести анализ ключевых факторов, влияющих на изменение суточных объемов перевозок, информация по которым на этапе прогнозирования либо известна, или же может быть предсказана с использованием математических методов прогнозирования (к такому фактору, в том числе, относятся данные об энергопотреблении в рассматриваемом регионе).

4. Разработать математические модели, методы и алгоритмы среднесрочного прогнозирования суточных объемов потребления электрической энергии и пассажирских перевозок в Московском метрополитене.

5. Разработать и экспериментально апробировать вычислительные алгоритмы для сформированной математической модели, основанные на применении искусственных нейронных сетей и сингулярно-спектрального анализа при прогнозировании суточных объемов пассажирских перевозок Московским метрополитеном в зависимости от суточного потребления электрической энергии в Московской агломерации.

Характеристика содержания диссертационной работы

Работа изложена на 129 страницах, содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы из 129 ссылок.

Во введении рассматривается актуальность диссертационной работы, сформулирована цель, аргументирована научная новизна выполненных исследований, показана практическая значимость полученных результатов, дано краткое изложение выносимых на защиту научных положений.

В первой главе рассматриваются актуальные вопросы и проблемы использования современных подходов прогнозирования изменений объемов пассажирских перевозок и спроса на транспортные услуги, их возможности и ограничения. В том числе, автором проводится анализ применяемых на практике методов и подходов для определения, оценки изменений и прогнозирования пассажирских перевозок, а также проводится теоретическая оценка возможностей и обосновывается применение показателя энергопотребления в качестве фактора для прогнозирования изменений объемов пассажирских перевозок в рассматриваемом регионе. В главе показано, что в применяемых в настоящее время моделях и методиках прогнозирования транспортного спроса необходимо наличие прогнозных значений регрессоров (ВВП, численности населения, подвижности населения и др.). Проанализированные в главе 1 методики оценки и прогнозирования транспортного спроса могут применяться для стратегического прогнозирования спроса на транспортные услуги (от одного года и более лет с временным шагом один год), что обусловлено периодичностью сбора и получения необходимой информации о действующих на спрос факторах: численность населения, ВВП, среднедушевой доход, транспортная подвижность населения и другие. Точность прогноза изменений объемов пассажирских перевозок и транспортного спроса связана с точностью располагаемых исходных данных о показателях и факторах, от которых зависят пассажирские перевозки. В работе показано, что повышение точности прогнозирования можно осуществить, используя для моделирования и прогнозирования спроса на услуги транспорта подход и методологию анализа временных рядов, при кото-

ром изменение факторов (период времени между наблюдениями) происходит в краткосрочном периоде. В данной главе предложена методика, которая позволит опережать официальную статистику: например, данные о росте валового внутреннего продукта (ВВП) публикуются раз в квартал с задержкой в 1-1,5 месяца после его окончания - с такой скоростью не представляется возможным быстро и эффективно отреагировать на изменения в транспортной отрасли. Таким образом, автором рассматриваются вопросы использования математических методов анализа и прогнозирования временных рядов, которые смогут выступить в качестве альтернативного и эффективного инструмента прогнозирования краткосрочных и среднесрочных изменений объемов пассажирских перевозок в зависимости от подбираемых (предлагаемых автором к рассмотрению) факторов внешней среды и энергопотребления, как фактора характеризующего социальную и экономическую активность пассажиров, связанную с использованием рассматриваемой транспортной системы.

Во второй главе построена и продемонстрирована работа предсказательной модели суточных объемов пассажирских перевозок в Московском метрополитене, основанной на искусственной нейронной сети (ИНС) прямого типа. Автором в качестве ИНС использовался многослойный перцептрон (МСП) из пакета TMVA 4.2.0 в среде ROOT. Статистическое распределение потока информации, полученное с помощью обученной нейронной сети, воспроизвело форму распределения, отвечающего реальным измерениям. При обучении и прогнозировании на вход нейронной сети подавалась выборка, составленная из ключевых факторов, от которых зависят суточные объемы перевозок метрополитеном. Автором был проведен отбор тех факторов, которые могут влиять на суточные объемы перевозок пассажиров, с использованием программного пакета Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Для исключения шума из анализируемого ряда была применена вейвлет-фильтрация исходных данных. Процедура фильтрации и фитирования временных рядов была реализована с помощью пакета MINUIT в среде пакета PAW (Physical Analysis Workstation). При процедуре фильтрации для исключения шума из анализируемого ряда использовалось дискретное вейвлет-преобразование (ДВП). Эта процедура позволила более чем в четыре раза повысить горизонт прогноза. ИНС с одним скрытым слоем плохо обучалась и, как следствие, с ее помощью нельзя было делать приемлемого прогноза. Поэтому автором использовался многослойный перцептрон с двумя скрытыми слоями, применение которого к анализируемым данным показало, что прогнозирование на основе ИНС указанного типа практически возможно. Одним из факторов в вычислительной схеме, предложенной автором при прогнозировании изменений объемов пассажирских перевозок является величина суточного потребления электроэнергии в Московской агломерации, представленная в виде временного ряда; участие данной перемен-

ной в предложенной прогнозной модели обеспечивает достаточный уровень качества прогноза. Поэтому для прогнозирования пассажирских перевозок в метрополитене с помощью искусственной нейронной сети, необходимо выполнить прогноз суточного энергопотребления в Московской агломерации, для обеспечения прогнозной модели дополнительными исходными данными.

В третьей главе автором развита и апробирована вычислительная схема (на основе ИНС рекуррентного типа и подхода «Гусеница»-SSA), позволившая обеспечить прогнозирование потребления электроэнергии в Московской агломерации в среднесрочной перспективе. Как и в случае суточных объемов пассажирских перевозок, анализируемый ряд был подвергнут процедуре вейвлет- фильтрации для исключения из него высокочастотного шума. В данной главе продемонстрирована возможность и эффективность комплексного использования ИНС рекуррентного типа и подхода «Гусеница»-SSA, когда для вычисления прогнозного участка, используемого на этапе проведения среднесрочного прогноза, с помощью обученной ИНС, применялся метод «Гусеница»-SSA, реализованный в пакете CaterpillarSSA version 3.40, Professional Edition. Сформированная таким образом входная выборка и последовательность этапов вычислений позволили: достичь быстрого и эффективного обучения нейронной сети, а также обеспечить точность среднесрочного прогнозирования суточного энергопотребления для Московской агломерации.

В четвертой главе автором развита методика и проведена ее апробация для среднесрочного (прогноз делался на 30 и 50 рабочих (будних) дней прогнозирования суточных объемов пассажирских перевозок в Московском метрополитене. Она включала три варианта прогноза: 1) на основе искусственной нейронной сети рекуррентного типа; 2) используя сингулярно-спектральный анализ, реализованный в пакете «Гусеница»-SSA; 3) совместное использование ИНС и подхода «Гусеница»-SSA. Показано, что разработанная вычислительная схема, методы и алгоритмы позволяют проводить с приемлемой точностью среднесрочное прогнозирование пассажирских перевозок в Московском метрополитене. При проведении экспериментов наилучшего варианта прогноза удалось добиться с помощью ИНС рекуррентного типа, на вход которой подавался набор факторов, влияющих на суточные объемы пассажирских перевозок в Московском метрополитене. Проведенный анализ показал, что из указанного набора можно исключить один из факторов, а именно, отклонение дневной температуры от среднестатистической нормы, поскольку данный фактор не оказывает заметного влияния на результаты прогноза. Прогноз, построенный на основе сингулярно-спектрального анализа, реализованного в пакете «Гусеница»-SSA, и при котором использовались только данные суточных объемов перевозок пассажиров, оказался смещенным относительно прогнозируемых данных в область

больших значений пассажиропотока. Это же явилось причиной смещения прогнозных значений в область больших величин объемов перевозок пассажиров при совместном использовании методов ИНС и SSA. Таким образом, оказалось, что ИНС рекуррентного типа чувствительна к значениям факторов, подаваемым на вход сети, и от их качества, точности и достоверности зависит прогноз исследуемой величины объемов пассажирских перевозок.

В Заключение подводятся итоги выполненных исследований, дается краткое описание работ, положенных в основу диссертации, формулируются основные результаты и личный вклад соискателя в проведенные исследования.

Новизна исследования и полученных результатов

Наиболее важными результатами, определяющими научную новизну, являются:

1. Разработан новый подход для прогнозирования суточных объемов пассажирских перевозок в Московском метрополитене на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) прямого типа. Продемонстрирована возможность краткосрочного прогнозирования на данных, отвечающих суточным объемам пассажирских перевозок в будние дни.

2. Проведен анализ состава и влияния различных факторов на исследуемые временные ряды. В результате проведенного анализа удалось сократить объем выборки, подаваемой на вход нейронной сети, а также ускорить процедуру ее обучения.

3. Разработана процедура исключения шума на основе вейвлет-фильтрации исходных данных. Показано, что данная процедура позволяет повысить точность прогноза и, как следствие, увеличить горизонт прогнозирования.

4. Развита вычислительная схема (на основе ИНС рекуррентного типа и подхода «Гусеница»-SSA), позволившая обеспечить прогнозирование потребления электроэнергии в Московской агломерации в среднесрочной перспективе.

5. Впервые создана вычислительная схема (на основе ИНС рекуррентного типа и подхода «Гусеница»-SSA), позволившая обеспечить прогнозирование пассажиропотока в Московском метрополитене в среднесрочной перспективе. При этом один из ключевых факторов, используемых при прогнозировании пассажиропотока, выступает потребление электроэнергии в Московской агломерации, которое в свою очередь можно спрогнозировать, применяя методику, реализованную в подходе «Гусеница»-SSA.

Все основные результаты диссертации опубликованы в 9 научных трудах, из которых восемь статей опубликованы в рецензируемых изданиях.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

Обоснованность научных положений обеспечивается использованием строгих математических процедур, общеизвестных уравнений, методов и подходов, которые обоснованы в общепринятой научной литературе, апробированы и хорошо себя зарекомендовали при проведении научных исследований.

Достоверность научных выводов и решений, полученных в диссертации, также обосновываются и подтверждаются применением для моделирования исследуемых процессов широко известных программ и моделей: программный пакет Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), программный пакет Statistica (Statsoft/Dell), пакет MINUIT в среде графического пакета PAW (Physical Analysis Workstation), пакет TMVA 4.2.0 в среде ROOT, программа CaterpillarSSA (version 3.40, Professional M Edition).

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на международных и российских конференциях.

Достоверность полученных результатов обеспечивается адекватностью разработанных методов математического моделирования, корректностью исходных и упрощающих допущений.

Теоретическая и практическая значимость исследований

Теоретическая значимость исследования заключается:

1. Развитые в работе математические методы позволили исследовать характерные особенности прогнозирования объемов пассажирских перевозок (на примере Московского метрополитена). В работе предложены математические модели для оценки изменений объемов пассажирских перевозок (на примере анализа временных рядов суточных объемов перевозок пассажиров в зависимости от различных внешних факторов, в том числе от одного из основных показателей социальной и экономической активности населения в рассматриваемом регионе -- потребления электрической энергии в Московской агломерации). Разработан комплекс математических методов и соответствующих вычислительных алгоритмов для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования изменений объемов пассажирских перевозок (на примере суточных объемов пассажирских перевозок Московским метрополитеном и факторов, влияющих на объемы перевозок) на основе многослойной нейронной сети прямого типа (МСП), реализация которого была осуществлена в пакете TMVA 4.2.0 в среде ROOT.

2. В работе представлена методика применения дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) к анализируемым временным рядам (автором использовалась программа MINUIT в среде графического пакета PAW (Physical Analysis Workstation), описывающим:

а) изменения объемов пассажирских перевозок (на примере временных рядов суточных объемов перевозок пассажиров метрополитеном); б) суточное потребление электрической энергии в качестве одного из значимых факторов, влияющих на суточные объемы перевозок пассажиров (на примере конкретного региона). Рассматриваемые временные ряды представляются в виде регулярного процесса и стохастической составляющей, играющей роль высокочастотного шума. Исключение из указанных рядов шумовой компоненты позволяет повысить точность прогнозирования и увеличить перспективу прогноза.

3. Автором предложены математические методы и вычислительные алгоритмы для среднесрочного прогнозирования суточного потребления электрической энергии (на примере конкретного региона) на основе многослойной нейронной сети рекуррентного типа и сингулярно-спектрального анализа с использованием пакета «Гусеница»-SSA (программа CaterpillarSSA version 3.40, Professional M Edition).

4. В работе разработана и представлена методика комплексного и совместного применения ДВП, МСП, ИНС рекуррентного типа и сингулярно-спектрального анализа для проведения краткосрочного и среднесрочного прогнозирования изменения объемов перевозки пассажиров Московским метрополитеном с учетом потребления электрической энергии в рассматриваемой агломерации.

В настоящее время весьма актуальной является проблема получение оперативной информации о состоянии и прогнозе изменений объемов пассажирских перевозок и спроса на транспортные услуги, что является актуальной задачей современного общества. Ее решение способствует удовлетворению потребностей населения в передвижении путем оптимального использования транспорта, повышает эффективность управления транспортной системой.

Практическая значимость работы заключается в том, развитые в настоящей работе методики для среднесрочного прогнозирования объемов пассажирских перевозок Московским метрополитеном с достигнутой точностью могут способствовать повышению эффективности и скорости принятия управленческих решений в зависимости от ситуации как на метрополитене, так и в окружающей внешней среде, включая климатические условия и динамику энергопотребления, как индикатора экономической, деловой и социальной активности населения агломерации или региона, который использует метрополитен в качестве одного из основных видов транспорта. Данная методика позволяет создать необходимые условия для выработки предприятиями городского пассажирского транспорта эффективных стратегий и оперативных мер, исходя из прогнозируемых суточных объемов пассажиропотока в Московском метрополитене, в том числе: 1) определения количества необходимого подвижного состава для перевозки пассажиров; 2) закупки электрической

энергии для тяги поездов; 3) подготовки и проведения специальных акций по привлечению пассажиров в определённые временные интервалы,; 4) принятия решений о необходимости увеличения на определенных участках транспортной сети обслуживающего персонала и сотрудников метрополитена 5) планирования различного рода мероприятий и др. 6) планирования и координирования работы метрополитена, а также смежных видов городского общественного транспорта.

Все основные результаты диссертации опубликованы в 9 научных трудах, из которых восемь статей опубликованы в рецензируемых изданиях: Applied Mathematical Sciences, «Экономический анализ: теория и практика», Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», «Математическое и компьютерное моделирование», Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» «Прикладная математика и информатика», Письма в журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра» («Письма в ЭЧАЯ»), European Physics Journal, Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем.

Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на научных и научно-практических конференциях международного и всероссийского уровня, а также семинарах в институтах: Всероссийской конференции с международным участием Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем — «РУДН», Mathematical Modeling and Computational Physics 2017, научные семинары в ЛИТ ОИЯИ.

Правильность оформления диссертации и автореферата, соответствие автореферата диссертации её содержанию

Результаты работы в достаточной мере апробированы, своевременно опубликованы, в том числе в журналах из перечня ВАК, а автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с принятыми для научных квалификационных работ нормами и требованиями. Автореферат адекватно и в полной мере отражает основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации. Автореферат содержит краткое изложение материалов диссертационной работы по главам и полностью соответствует содержанию самой диссертационной работы. В автореферате выделены все решаемые в каждой главе задачи и представлены научные результаты.

Недостатки работы

Работа не лишена недостатков, среди которых можно отметить следующие:

1. Литературный обзор по теме диссертационной работы выполнен в объеме, достаточном для корректного обоснования актуальности темы и новизны полученных автором научных результатов. Однако, это не означает, что в известных инженерных исследованиях особенностей поведения объемов пассажирских перевозок отсутствуют результаты и исходные данные, которые следовало бы учесть при проведении анализа методов, используемых в диссертационной работе.

2. Отсутствие в диссертации подробного описания методики, инструментальных и программных средств, используемых при измерениях следует считать недостатком работы. С другой стороны, объем диссертации мог быть сокращен за счет несколько избыточного описания известных теоретических положений в области существующих методик прогнозирования объемов пассажирских перевозок.

3. Диссертация содержит большой объем иллюстративного графического материала, связанного с обработкой и анализом статистических данных. Однако, в ряде случаев, следовало бы представлять результаты в табличном виде, поскольку по графикам могут быть оценены только качественные характеристики исследуемых процессов. Необходимость в подобной интерпретации может возникнуть при практическом применении результатов работы.

4. Диссертация содержит ряд редакционных и стилистических погрешностей: у некоторых рисунков (например, 11, 14, 23) надписи по осям и пояснительные подписи сделаны на английском языке.

Указанные замечания не умаляют достоинств работы, а ведущий личный вклад автора в полученные результаты очевиден как из текста самой диссертации, так и из приведенного списка литературы.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Осетрова Е. С., в которой решена актуальная задача по разработке новых математических моделей, методов, алгоритмов и комплексов программ, предназначенных для прогнозирования объемов пассажирских перевозок.

Можно считать, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой и в ней найдены и экспериментально апробированы подходы к решению конкретной научной проблемы, имеющая важное значение для создания математических моделей, методов, алгоритмов и комплексов программ, предназначенных для прогнозирования объемов пассажирских перевозок.

Полученные результаты имеют конкретные признаки научной новизны и практической значимости, могут быть использованы на практике как в академических институтах, занимающихся исследованиями и прогнозированием временных рядов, так и в учебном процессе для студентов профильных специальностей.

Результаты работы в достаточной мере апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях, на семинарах, своевременно опубликованы, в том числе в журналах из перечня ВАК, а автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Диссертация написана четким языком и хорошо структурирована, каждая глава содержит необходимые выводы. Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации и основные результаты автора.

На основании изложенного считаем, что диссертация Осетрова Е. С. «Математические модели, методы и алгоритмы для прогнозирования пассажирских перевозок соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор Осетров Евгений Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук РУДН, протокол заседания № 0200-19-04/10 от «03» мая 2018 года.

Доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей,

Доктор физико-математических наук, доцент

Профессор кафедры прикладной информатики и теории вероятностей,

Доктор физико-математических наук, профессор

Заведующий кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей,

Доктор технических наук, профессор

« ____ » _____ 2018 г.

Подписи заведующего кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей Самуйлова К. Е., профессора кафедры прикладной информатики и теории вероятностей Севастьянова Л.А., доцента кафедры прикладной информатики и теории вероятностей Кулябова Д. С. заверяю

Ученый секретарь Российского университета дружбы народов,

д.ф.-м.н., профессор



В. М. Савчин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Адрес: 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Сайт: <http://www.rudn.ru>

Телефон: +7 (495) 434-53-00

Факс: +7(495) 433-95-88

E-mail: rector@rudn.ru