

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.017.01
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ СИСТЕМ
ЭНЕРГЕТИКИ ИМ. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело

№ _____

решение диссертационного совета от 20.12.2018 г. № 21

О присуждении Михайловскому Егору Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Разработка и апробация технологии объектно-ориентированного моделирования гидравлических цепей на примере задач потокораспределения»** по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите «27» сентября 2018 г., протокол №16 диссертационным советом Д 003.017.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, совет создан приказом Минобрнауки России №105/нк от 11.04.2012.

Соискатель **Михайловский Егор Анатольевич**, 1986 года рождения. В 2008 г. окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Иркутский государственный технический университет по специальности «Автоматизированные системы обработки

информации и управления», в 2011 г. окончил очную аспирантуру по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Работает в должности младшего научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе трубопроводных систем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник Новицкий Николай Николаевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, отдел трубопроводных систем энергетики, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Сарданашвили Сергей Александрович – доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов, профессор;

Дектерев Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория физических основ энергетических технологий, старший научный сотрудник,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт экономики и организации управления в газовой промышленности», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном И.О. Стурейко, кандидатом физико-математических наук, заместителем директора центра экономики транспорта и подземного хранения углеводородов, заведующим отделом управления технологическим развитием транспорта, А.С. Казаком, первым заместителем генерального директора по науке, профессором, доктором технических наук и утвержденном Н.А. Кисленко, кандидатом технических наук, профессором, генеральным директором, указала, что диссертационная работа Михайловского Е.А. представляет собой завершённую научно-исследовательскую квалификационную работу, соответствующую критериям, указанным в пп. 9–14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Михайловский Егор Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 26 (двадцать шесть) опубликованных научных работ, в том числе по теме диссертации – 26 (двадцать шесть) работ, из них в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК – 5 (пять) работ.

Вклад диссертанта в подготовку статей оценивается как весомый. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы:

Статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК:

1. Михайловский Е.А., Новицкий Н.Н. Объектно-ориентированное моделирование гидравлических цепей // Вестник ИРГТУ – №7, 2012 – С. 170–176.
2. Михайловский Е.А., Новицкий Н.Н. Программно-вычислительный комплекс «ИСИГР» для применения методов теории гидравлических цепей в сети Интернет // Научный вестник НГТУ. – 2016. – №3(64). С. 30–43. ISBN 1814-1196. DOI 10.17212/1814-1196-2016-3-30-43.
3. Михайловский Е.А., Новицкий Н.Н. Инновационный программный комплекс «ИСИГР» для моделирования режимов работы систем водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 12. С. 45–49.
4. Михайловский Е.А., Новицкий Н.Н. Модифицированный метод узловых давлений для расчета потокораспределения в гидравлических цепях при нетрадиционных замыкающих соотношениях // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2 (218) 2015. – 179 с.
5. Михайловский Е.А., Новицкий Н.Н., Шалагинова З.И. Объектно-ориентированные модели элементов тепловых пунктов теплоснабжающих систем // Вестник ИРГТУ – №9, 2017 – С. 157–171.

На диссертацию и автореферат поступило девять отзывов. Все отзывы **положительные**, отмечают актуальность работы, её научную новизну и практическую значимость, а также достоверность полученных результатов. Замечания носят рекомендательно-дискуссионный или уточняющий характер и не касаются научной новизны, основных положений, выносимых на защиту, а также теоритической и практической значимости:

1. Канина Людмила Петровна, к.т.н., главный специалист Московской объединённой энергетической компании. Отзыв без замечаний.
2. Малевская Марина Борисовна, к.т.н., доцент, начальник учебно-методического отдела Учебно-тренажерного центра нефтегазового дела Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Иркутский национальный исследовательский технический университет. Отзыв содержит два замечания: 1) Учитывая, что ИСИГР отличается от множества аналогичных ПВК простотой освоения и доступностью, желательно, особенно для целей обучения студентов, иметь более полное (подробное) описание возможностей нестандартного применения его функций. ИСИГР, например, может быть использован для наладочных работ (разработки режимных карт) в котельных и центральных тепловых пунктах, где имеется большое количество запорно-регулирующей арматуры, насосных агрегатов, теплообменных аппаратов, котлов и местных сопротивлений. 2) В автореферате следовало указать, что ИСИГР позволяет моделировать режимы противопожарного водопровода, поскольку имеющиеся ПВК достаточно сложны в освоении и имеют высокую цену, что для проектных и инспектирующих организаций является серьезным препятствием в их приобретении, так как подобные ПВК используются не часто.

3. Сеннова Елена Викторовна, д.т.н., профессор кафедры «Экономика нефтяной и газовой промышленности», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина. Отзыв без замечаний.
4. Филимонов Сергей Анатольевич, к.т.н., младший научный сотрудник ООО "ТОРИНС", Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв содержит два замечания. 1) Автор пишет, что реализовано два метода моделирования потокораспределения: модифицированный метод узловых давлений и модифицированный метод контурных расходов. Необходимо пояснить алгоритм выбора метода, которым проводится расчет (автоматически или вручную). 2) Решение системы линейных алгебраических

уравнений включено в «Модель сети». Не считает ли автор, что методы решения СЛАУ необходимо вынести в отдельный модуль.

5. Тарасевич Владимир Владимирович, д.т.н., доцент, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв содержит следующее замечание. Одним из ключевых понятий и инструментов работы является, по терминологии автора, «объектно-ориентированное моделирование». Но обзор работ по теме диссертации относится лишь к теории гидравлических цепей и различным методикам их гидравлического расчёта. Объектно-ориентированный подход никак не отражён в приведённом в автореферате обзоре работ. Однако только в переводе на русский язык вышла уже третьим изданием фундаментальная монография одного из основателей объектно-ориентированного подхода Гради Буча (см., например, Г.Буч и др. «Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений», 3-е изд., М, «Вильямс», 2010, 720 с.). Объектно-ориентированный подход является именно подходом, некоей «идеологией», реализацией которого в сфере программирования стало, например, объектно-ориентированное программирование. Но этот подход может иметь и более широкое применение, например, при разработке математических моделей, что блестяще продемонстрировано автором в рассматриваемой диссертации.
6. Корельштейн Леонид Бенционович, к.ф.-м.н., Общество с ограниченной ответственностью «НТП Трубопровод», заместитель директора по научной работе. Отзыв содержит три замечания. 1) Конкретная программная архитектура, предложенная диссертантом, представляется удачной и перспективной, однако в полной мере говорить о ее эффективности и тем более открытости можно будет только после того, как соответствующие программные интерфейсы

будут доступны публично, и в комплекс будут успешно интегрированы программные компоненты, моделирующие новые типы элементов или новые алгоритмы расчета ГЦ, причем разработанные другими разработчиками, помимо диссертанта и его коллег из ИСЭМ СО РАН.

Пока это, насколько известно рецензенту, к сожалению, не произошло.

2) Так, во втором абзаце стр.8 автореферата утверждается, что во многих работах по ТГЦ говорилось, что классические методы ТГЦ не применимы для моделирования магистральных газопроводов, пароводяных трактов технологических установок, ТПС технологического назначения или применимы только с дополнительной методикой вложенных циклов итераций. Это конечно не так – во многих случаях для данных ТПС классические методы ТГЦ вполне применимы – хотя и есть случаи, когда целесообразно использовать модифицированные методы ММД и ММКР или аналогичные. 3) На стр.9 в предпоследнем абзаце, рецензент, по словам диссертанта, использует ООМ для ТПС, транспортирующих однофазные и многофазные (!) жидкости и газы. Очевидно, диссертант имел в виду многофазные потоки (то есть газо-жидкостные смеси).

7. Сухарев Михаил Григорьевич, д.т.н., профессор, кафедра «Прикладная математика и компьютерное моделирование», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, заслуженный деятель науки РФ. Отзыв содержит три замечания. 1) Характеризуя историю становления отечественной научной школы, к которой относится выполненная работа, соискатель проявил недостаточную осведомленность. Оформление и признание этой школы он относит к 70 – 90 годам прошлого века (стр. 8), связывая исключительно с исследованиями, проводившимися в ИСЭМ СО РАН. На самом деле, первые работы одного из основоположников школы

В.Я. Хасилева относятся к 40-м – 50-м годам. Некоторые из этих работ по теплоэнергетике были опубликованы в наиболее престижных журналах того времени: Докладах и Известиях АН СССР. Проводились также работы по другим системам энергетики. Мною совместно с Е.Р. Ставровским в 60-х написана монография «Расчеты систем транспорта газа с помощью вычислительных машин», вышла в свет она в 1971 году. В книге впервые в русскоязычной (и, насколько мне известно, в мировой) монографической литературе в развернутой форме представлены алгоритмические методы анализа гидравлических цепей (применительно к системам газоснабжения), приведены результаты вычислительных экспериментов, выполненные на компьютерах того времени (ЭЦВМ). 2) В литературном обзоре не приведены сведения о зарубежных работах в области гидравлических цепей, что надо признать досадным упущением, так как в последние десятилетия это научное направление интенсивно развивается. 3) Приводя аналитическую запись модели газоперекачивающего агрегата (стр. 11, формулы (3), (4)), соискатель использует материалы из работ А.Г. Евдокимова, А.Д. Тевяшева, относящихся к концу 70-х, началу 80-х годов. Было бы естественно воспользоваться более свежими публикациями.

8. Анучин Михаил Геннадьевич, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахи. Отзыв содержит следующее замечание. К недостаткам изложения материала диссертации следует отнести отсутствие примеров расчетов режимов работы реальных трубопроводных систем, демонстрирующих адекватность и точность разработанных методов.
9. Терехов Лев Дмитриевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика», Федеральное

государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Отзыв без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается сферой их научных интересов и исследований в области математического и компьютерного моделирования трубопроводных систем (ТПС), что подтверждается научными публикациями официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации и их способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработаны** основные положения новой технологии – объектно-ориентированного моделирования гидравлических цепей (ООМ ГЦ), а также новые математические модели и методы, расширяющие границы применимости методов теории гидравлических цепей (ТГЦ) для математического и компьютерного моделирования режимов ТПС различного типа и назначения.
- **предложены** оригинальная идея, а также механизмы отделения программных реализаций общих методов ТГЦ от прикладной специфики ТПС.
- **доказана** перспективность перехода на предлагаемую концепцию ООМ ГЦ, исключаящую непроизводительное дублирование реализаций методов математического моделирования ТПС в разных программно-вычислительных комплексах (ПВК) и в целом, затрат на их разработку, развитие и сопровождение.
- **введены** новые понятия «неявные по расходу» и «зависимые от давления» замыкающие соотношения, которые упрощают классификацию всех известных законов изотермического установившегося течения среды по элементам ТПС.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

- **доказана** возможность расширения границ применимости методов ТГЦ для расчета потокораспределения при произвольных законах течения;
- **применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** существующие методы ТГЦ для математического моделирования ТПС, теория компьютерного моделирования и разработки сложных программ, методы вычислительной математики и проведения вычислительного эксперимента;
- **изложены** основные положения ООМ ГЦ, обоснования новых обобщенных моделей установившегося изотермического потокораспределения, численных методов его расчета, а также условия гарантированного получения решений с их помощью;
- **раскрыты** недостатки сложившейся практики разработки прикладных ПВК, проявляющиеся, с одной стороны, в непроизводительном дублировании одних и тех же методов расчета в разных ПВК, а с другой, при отсутствии теоретически обоснованных методов расчета, – в необходимости применения сложных, либо полуэмвристических вычислительных схем.
- **изучены** причинно-следственные связи, обеспечивающие возможность математической классификации всего разнообразия зависимостей для потерь давления по элементам ТПС различного типа, как традиционных, неявных по расходу и зависимых от давления замыкающих соотношений;
- **проведена модернизация** традиционной математической модели установившегося изотермического потокораспределения в ГЦ для учета произвольных типов замыкающих соотношений, разработаны новые численные методы расчета потокораспределения (модифицированные методы узловых давлений и контурных расходов), одновременно удовлетворяющие требованиям вычислительной эффективности и универсальности учета разных типов зависимостей для законов течения жидкости или газа.

Значение полученных соискателем результатов исследования **для практики** подтверждаются тем, что:

- **разработан и внедрен** ПВК «ИСИГР» (Интернет Система Гидравлических Расчетов) на базе предложенных технологий, моделей, методов и алгоритмов, который предназначен для моделирования гидравлических режимов ТПС водо- и газоснабжения. Данный ПВК реализован, находится в эксплуатации в открытом доступе и впервые в отечественной и зарубежной практике обеспечивает возможности удаленного применения методов ТГЦ в любое время, в любом месте и любому числу пользователей при наличии подключения к Интернет. В 2013 г. на этот ПВК получено свидетельство о государственной регистрации. К настоящему времени с его помощью выполнены десятки тысяч расчетов сотен расчетных схем ТПС сотнями пользователей из десятков городов России и ближнего зарубежья.

- **определены** перспективы применения разработанной технологии ООМ ГЦ, которая может быть положена в основу нового поколения программных реализаций методов теории гидравлических цепей и обеспечивает: 1) многократное применение единожды реализованных методов в существующих или вновь создаваемых ПВК для компьютерного моделирования ТПС; 2) использования этих методов как в локальных, так и в распределенных ПВК; 3) развития и наращивания потенциала ПВК без перепрограммирования имеющегося; 4) сокращения затрат на разработку, отладку, развитие и сопровождение ПВК; 5) повышения оперативности внедрения методов моделирования ТПС и расширения сферы их практического применения для различных типов ТПС и в разных целях;

- **создана** методика практического применения предложенной концепции ООМ ГЦ при разработке прикладных ПВК, базирующаяся на предложенных технологиях программной реализации методов ТГЦ, моделей элементов и их совместного применения;

- **представлены** рекомендации по более широкому использованию разработанных технологии, моделей и методов для ТПС различного тапа

(тепло-, водо-, газоснабжения и др.) в практике их проектирования, эксплуатации и диспетчерского управления, в исследовательских и обучающих целях – для анализа пропускной способности ТПС, проведения поверочных расчетов вариантов развития ТПС, анализа причин и степени нарушений в режимах, разработки и обосновании вариантов их нормализации и т.д.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ предложенные модели и методы многократно тестировались путем вычислительного эксперимента в разных условиях – для расчетных схем разных типов ТПС, конфигурации, размерности, замыкающих соотношений, при произвольных начальных приближениях и граничных условиях. Результаты тестирования подтвердили возможность получения решений согласованных с физическими законами потокораспределения при произвольных расчетных условиях, кратное уменьшение вычислительной трудоемкости по сравнению с традиционной методикой двойных циклов итераций, универсальность в отношении произвольных типов замыкающих соотношений.
- **теория** опирается на фундаментальные работы российских и зарубежных авторов в области математического и компьютерного моделирования ТПС, в том числе на многократно проверенный практикой модельный и методический аппарат ТГЦ и современную теорию проектирования и разработки сложных программ.
- **идея** диссертации и предлагаемой технологии **базируется** на: обобщении существующего опыта математического моделирования ТПС; анализе причин возникающих здесь трудностей; анализе недостатков применяемых подходов при разработке ПВК, сдерживающих широкое применение этих методов на практике; возможностях использования современных информационных технологий и потенциальной общности методов ТГЦ для расчета и оптимизации ТПС различного типа и назначения;

- **использованы** опубликованные материалы исследований российских и зарубежных авторов для проверки результатов вычислительных экспериментов в сопоставимых условиях;
- **установлено**, что полученные автором теоретические результаты и выводы согласуются с результатами, полученными другими авторами по теме диссертации, а также подтверждаются успешной практикой широкого применения разработанного методического и программного обеспечения;
- **использованы** современные методики тестирования численных методов и комплексов программ, в том числе на основе методов случайной генерации и обработки представительной выборки расчетных условий, а также на основе обработки независимой выборки объектов расчета, формируемой пользователями при удаленном применении разработанных методов и программ;

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах исследования, в том числе, при постановке целей и задач диссертационной работы. Автору принадлежит разработка основных положений новой технологии ООМ ГЦ для реализации методов моделирования ТПС, анализ и систематизация основных математических зависимостей (замыкающих соотношений) моделирующих работу оборудования ТПС, принципы реализации их объектных моделей, разработка и исследование новой математической модели стационарного изотермического потокораспределения и методов его расчета; проведение их тестирования и обработка полученных результатов; разработка на основе предложенных методов, моделей, технологий и алгоритмов ПВК «ИСИГР»; апробация результатов исследований; подготовка основных публикаций по теме диссертации.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической проблемы эффективной разработки и применения методов математического и компьютерного моделирования ТПС различного типа и назначения при их проектировании, эксплуатации и управлении режимами, имеющей важное

значение для энергетики, социальной сферы, промышленности и других отраслей экономики РФ.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям и критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученых степеней, установленным пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 01.10.2018).

На заседании 20.12.2018 года диссертационный совет принял решение присудить Михайловскому Егору Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» – 18, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Воропай Николай Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Клер Александр Матвеевич

20.12.2018 г.