

ОТЗЫВ

официального оппонента — кандидата технических наук, доцента
Полковской Марины Николаевны на диссертационную работу
Мамедова Тимура Габировича
на тему «**Методы, модели и инструментальные средства
интеллектуальной поддержки принятия решений в прогнозных
исследованиях топливно-энергетического комплекса**», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
**1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ»**

1. Актуальность диссертационной работы Мамедова Т.Г. обусловлена необходимостью совершенствования прогнозных исследований топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в условиях высокой неопределенности внешних и внутренних факторов. Современные вызовы требуют не только количественных расчетов, но и формализованного учета экспертных знаний, угроз энергетической безопасности и причинно-следственных связей. Существующие инструменты зачастую разрознены, что затрудняет переход от качественного анализа к количественным оценкам. Таким образом, тема работы, направленная на интеграцию семантического и математического моделирования, является своевременной и практически востребованной.

2. Научная новизна диссертационного исследования сформулирована в четырех пунктах.

1. Впервые для прогнозных исследований ТЭК разработана методика интеграции математических и интеллектуальных технологий, отличающаяся совместным использованием онтологических, когнитивных и экономико-математических моделей и предусматривающая автоматизированный переход от качественного анализа к формированию вычислительных сценариев экономико-математической модели ТЭК с позиции обеспечения энергетической безопасности.

2. Модифицирована экономико-математическая модель ТЭК путем введения дополнительных уравнений, отражающих экономические, экологические и квазидинамические связи, что обеспечивает учет бюджетных, экологических и межпериодных ограничений при исследовании направлений развития ТЭК. Разработана формализованная модель вычислительного эксперимента, отличающаяся совместным представлением математических и семантических моделей.

3. Разработан численный метод стохастической корректировки параметров экономико-математической модели ТЭК, отличающийся учетом когнитивных весов при формировании множества сценарных параметров.

4. Модифицирована технология поддержки принятия стратегических решений по развитию ТЭК с позиции обеспечения энергетической безопасности, отличающаяся совместным использованием математических и

семантических моделей, на основе применения разработанного многоагентного программного комплекса ИНТЭК-SAW.

3. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации. Теоретическая значимость работы заключается в разработке методического подхода к проведению исследований направлений развития ТЭК, интегрирующего семантическое и математическое моделирование, отличающегося автоматизированным переходом от этапа качественного анализа к количественному. Предложенная фрактальная стратифицированная модель позволяет формализовать сложную структуру знаний о прогнозных исследованиях через выделение взаимосвязанных слоев и отображений между ними.

Практическая ценность работы заключается в создании программного комплекса ИНТЭК-SAW, который позволяет исследователю работать с моделями, сценариями и результатами расчетов в единой среде. Особого внимания заслуживает web-ориентированная реализация комплекса, обеспечивающая доступ через браузер и централизованное хранение данных. Результаты диссертации прошли апробацию в реальных вычислительных экспериментах (угрозы «Выбросы CO₂», «Маловодье», «Повреждение газотранспортного коридора», «Дефицит инвестиций»). Практическая значимость подтверждается использованием результатов в научно-исследовательской деятельности Института энергетики НАН Беларуси, передачей программного комплекса в НИИ информационных технологий ХМАО (Югры), а также применением результатов в учебном процессе ИРНИТУ и ИГУ.

4. Обоснованность и достоверность результатов работы

Сформулированные в работе выводы, научные положения и рекомендации являются в достаточной степени обоснованными и подтвержденными результатами теоретических и практических исследований. Достоверность результатов обеспечивается использованием теории математического моделирования, системного анализа, линейного программирования, онтологического и когнитивного моделирования, а также согласованностью предложенных методов с задачами прогнозных исследований ТЭК. Проведена серия вычислительных экспериментов, подтвердивших работоспособность предложенных решений и их соответствие известным закономерностям функционирования и развития ТЭК. Выводы по главам и представленный в работе материал отражают содержание проведенных исследований и подтверждают решение поставленных задач.

5. Апробация и личный вклад

Основные научные результаты диссертационного исследования достаточно полно отражены в 18 публикациях, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (К2), 3 статьи проиндексированы в Scopus и/или Web of Science, получено 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на ряде мероприятий международного и всероссийского уровня, среди которых можно выделить: Международную конференцию «International Conference of Young Scientists "Energy Systems Research"» (г. Иркутск, 2021); конференцию «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century» (г. Иркутск, 2022); 6-ю Международную научную конференцию «Intelligent Information» (г. Стамбул, Турция, 2022); Международный конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям (Дивноморское, 2021); научные семинары «Critical Infrastructures in the Digital World» (2020–2026 гг.); XXV–XXIX Байкальские Всероссийские конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Иркутск, 2020–2024 гг.); Международную конференцию «Физико-техническая информатика – СРТ» (г. Москва, 2022–2023 гг.).

Результаты работы применены при выполнении проектов, поддержанных грантами Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ): гранты РФФИ № 20-07-00994 (2020–2022), № 19-57-04003 (2019–2020), № 18-07-00714 (2018–2020), грант Российского научного фонда (РНФ) № 22-21-00841 (2021–2023); проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН III.17.2.1 «Проблемы разработки, адаптации и применения интеллектуальных информационно-телекоммуникационных технологий в интегрированных интеллектуальных энергетических системах» № госрегистрации АААА-А17-117030310444-2 (2017–2020); проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН III.17.2 «Методология построения ИТ-инфраструктуры для разработки интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики» № госрегистрации АААА-А21-121012090007-7 (2021–2025).

По результатам представленной работы в 2022 году автору присуждена стипендия губернатора Иркутской области. Автор является лауреатом конкурса Иркутской области (2024 г.) в составе коллектива в номинации «За лучшие научные, научно-технические и инновационные разработки молодых ученых» за разработку «Цифровая платформа для поддержки устойчивости энергетических и экологических систем Иркутской области», в которую вошли результаты автора.

При выполнении диссертационного исследования автором лично выполнены следующие работы: разработана методика интеграции математического, онтологического и когнитивного моделирования в исследованиях направлений развития ТЭК с позиции обеспечения энергетической безопасности; выполнена модификация экономико-математической модели ТЭК за счет введения экономических, экологических и квазидинамических уравнений; разработана формализованная модель вычислительного эксперимента, обеспечивающая совместное представление математических и семантических моделей; разработан численный метод стохастической корректировки параметров экономико-математической модели ТЭК на основе метода Монте-Карло с использованием когнитивных весов; реализован многоагентный программный комплекс ИНТЭК-SAW; выполнены вычислительные эксперименты по оценке влияния экологических,

природных, техногенных и инвестиционных ограничений на состояния ТЭК; проведены анализ и интерпретация полученных расчетных результатов.

6. Заключение о соответствии паспорту научной специальности

Диссертационная работа Мамедова Т.Г. соответствует следующим направлениям паспорта научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

П.3. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента (положения 3, 4, выносимые на защиту).

П.8. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента (положения 1, 2, 4 выносимые на защиту).

П.9. Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий (технические науки) (положение 4, выносимое на защиту).

7. Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Мамедова Тимура Габилевича объемом 216 страниц состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 108 наименований и трех приложений. Работа включает 47 рисунков. Основной текст изложен на 186 страницах.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, обусловленная необходимостью совершенствования прогнозных исследований топливно-энергетического комплекса (ТЭК) с позиции обеспечения энергетической безопасности. Сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Представлены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации и внедрении результатов. Целью работы является разработка методов, моделей и программного комплекса для интеллектуальной поддержки принятия решений в прогнозных исследованиях ТЭК.

Первая глава посвящена анализу текущего состояния прогнозных исследований ТЭК с позиции обеспечения энергетической безопасности. В ней подробно рассмотрены понятия энергетической безопасности, чрезвычайных и критических ситуаций, а также классификация угроз. Автор анализирует существующие подходы, технологии и инструментальные средства поддержки исследований энергетической безопасности. Особое внимание уделено обзору программных средств для исследований направлений развития ТЭК (TIMES, MESSAGEix, OSeMOSYS, LEAP/NEMO, Temoa, PyPSA, Calliope, Balmorel, EnergyPLAN, PLEXOS, ReEDS, Sienna, NEMS, PRIMES, GCAM, REMIND, SCANNER, а также комплексы семейства ИНТЭК). Показано, что существующие средства имеют ограничения: недостаточная формализация перехода от качественного анализа к параметрам

математической модели, избыточность комбинаторного формирования расчетных вариантов, ограниченность учета межпериодных и экологических связей. В главе также рассмотрено развитие инструментальных средств семантического моделирования в ИСЭМ СО РАН (OntoMap, CogMap, DCogMap, EventMap, BayNet). На основе проведенного анализа сформулированы задачи исследования, определившие структуру диссертационной работы.

Вторая глава посвящена разработке методических основ интеграции семантического и математического моделирования в исследованиях энергетической безопасности. Предложена формализованная фрактальная стратифицированная (ФС) модель вычислительного эксперимента, в которой предметная область, энергетическая инфраструктура, угрозы, мероприятия, методы моделирования, состояния ТЭК и индикаторы энергетической безопасности представлены как взаимосвязанные слои. Введены отображения между слоями, задающие переход от качественного анализа к количественной оценке.

Выполнено расширение экономико-математической модели территориально-отраслевого баланса ТЭК за счет введения экономических (инвестиционных), экологических и квазидинамических уравнений. Это позволяет учитывать бюджетные, экологические и межпериодные ограничения.

Разработана методика интеграции математического и семантического моделирования, включающая четыре этапа: определение множества реляционных отношений, построение онтологического описания модели ТЭК, построение когнитивных карт исследования, проведение вычислительного эксперимента. Для формализации данных предложена схема реляционной базы данных в нотации Чена. Описан алгоритм автоматизированного построения онтологического описания фрагмента экономико-математической модели ТЭК на основе кода уравнения.

Разработан численный метод стохастической корректировки параметров экономико-математической модели ТЭК на основе метода Монте-Карло с использованием когнитивных весов (SCWA). Метод предназначен для учета неопределенности экспертных оценок и формирования множества сценарных состояний ТЭК. Приведены формулы для расчета агрегированного когнитивного воздействия, суммарной степени уверенности, математического ожидания и среднеквадратического отклонения корректируемых параметров.

В главе также обоснована необходимость реинжиниринга программных комплексов семейства «ИНТЭК» и представлены проектные решения по созданию ПК ИНТЭК-SAW. Сформулированы функциональные, технологические, эксплуатационные, интерфейсные и предметно-ориентированные требования к системе. Построены контекстные диаграммы и диаграммы декомпозиции в нотации IDEF0 (AS-IS и TO-BE), отражающие целевую организацию исследовательских процессов. Разработана диаграмма вариантов использования ПК ИНТЭК-SAW.

Третья глава посвящена реализации программного комплекса ИНТЭК-SAW и его применению в исследованиях. Представлена архитектура

комплекса, реализованная на основе агентно-сервисного подхода. Комплекс включает пользовательский уровень (Web UI на Blazor), API Gateway, базу данных и два взаимосвязанных слоя: слой семантического моделирования и слой оптимизационного моделирования.

Детально описана реализация основных агентов комплекса: агента формирования моделей, агента сценариев, агента семантического моделирования, агента-решателя и агента формирования отчётов. Приведены фрагменты моделей данных, диаграммы классов, структура взаимодействия серверной и клиентской частей. Показано, что в качестве расчетного ядра используется Google OR-Tools Linear Solver с решателем SCIP.

Модифицирована технология поддержки принятия стратегических решений по развитию ТЭК, интегрирующая семантическое и математическое моделирование. Технология включает шесть основных этапов: построение экономико-математической модели, построение онтологии, формирование когнитивной карты, формирование вычислительного сценария, поиск оптимального решения, интерпретация результатов. Представлена модель бизнес-процесса технологии в нотации BPMN.

В разделе 3.4 третьей главы представлена апробация разработанного методического и программного обеспечения на серии вычислительных экспериментов. Рассмотрены эксперименты с угрозами: «Выбросы CO₂», природная угроза «Маловодье» в Сибирском ФО, техногенная угроза «Повреждение Уральского газотранспортного коридора», а также «Дефицит инвестиций в развитие газовой отрасли 2025–2030 гг.».

Для каждого эксперимента приведены результаты детерминированных расчетов и статистические характеристики, полученные с использованием численного метода стохастической корректировки. Показано, что предложенный метод позволяет оценить диапазон возможных состояний ТЭК, математическое ожидание и вариацию ключевых показателей. Результаты экспериментов подтвердили работоспособность предложенных решений и их адекватность известным закономерностям функционирования ТЭК.

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертационного исследования, а также намечены перспективы дальнейших исследований.

В приложениях представлены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных, таблица основных видов угроз энергетической безопасности, а также акты о внедрении результатов диссертационного исследования.

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки) в части пунктов 3, 8 и 9. Работа написана самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты.

8. Замечания по содержанию диссертационной работы

1. В работе предложен численный метод стохастической корректировки параметров экономико-математической модели ТЭК на основе когнитивных

весов (SCWA). В формулах (2.42) и (2.43) (стр. 75) используются коэффициент масштаба β и коэффициент неопределенности α . Хотелось бы уточнить, как выбираются значения этих коэффициентов? Являются ли они фиксированными для всех типов угроз или настраиваются экспертно в каждом конкретном случае? Проводилась ли оценка чувствительности получаемых результатов к вариации значений β и α ? В приведенных вычислительных экспериментах использовались различные значения ($\beta = 0,035$, $\alpha = 0,05-0,07$), однако обоснование выбора именно этих значений в тексте отсутствует.

2. В работе описана архитектура программного комплекса ИНТЭК-SAW, основанная на агентно-сервисном подходе. Однако в тексте не уделено достаточного внимания вопросам масштабируемости системы при увеличении количества одновременно работающих пользователей и объема расчетных данных. Хотелось бы уточнить, проводилось ли нагрузочное тестирование комплекса? Каковы предельные объемы моделей, с которыми может работать система без потери производительности?

3. В параграфе 3.2 приведено описание интерфейсов агентов, однако отсутствует информация о средствах разграничения прав доступа пользователей и защите данных при работе в многопользовательском режиме. Является ли система защищенной от несанкционированного доступа? Предусмотрены ли механизмы резервного копирования и восстановления данных?

4. При описании численного метода стохастической корректировки используется метод Монте-Карло. Хотелось бы уточнить, какова вычислительная сложность предложенного алгоритма и проводилась ли оценка времени выполнения расчетов для полной модели ТЭК? Какова оптимальная величина выборки N для получения устойчивых статистических оценок? В приведенных экспериментах использовалось 100 реализаций, однако обоснование выбора именно этого числа в тексте отсутствует.

5. В тексте диссертации имеется ряд неточностей, например обозначения на рисунке 2.2 и в формуле 2.15 отличаются. Данные рисунка 2.1 и формулы 2.4 не совпадают. Кроме того, логично было бы изобразить переходы стрелками (рис. 2.1), поскольку непонятно из какого уровня в какой осуществляется переход.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не влияют на положительное впечатление от нее. Они носят преимущественно рекомендательный и дискуссионный характер и могут быть учтены автором в дальнейших исследованиях.

9. Общее заключение

Диссертация Мамедова Тимура Габировича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на современном научном уровне, в которой решена важная научно-практическая задача — разработка методов, моделей и инструментальных средств для интеллектуальной поддержки принятия решений в прогнозных исследованиях

топливно-энергетического комплекса с позиции обеспечения энергетической безопасности.

В работе получены новые научные результаты, имеющие существенное значение для развития математического моделирования, численных методов и комплексов программ в приложении к задачам энергетики. Разработана методика интеграции семантического и математического моделирования, обеспечивающая формализованный переход от качественного анализа угроз и мероприятий к построению вычислительных сценариев и количественной оценке состояний ТЭК. Модифицирована экономико-математическая модель территориально-отраслевого баланса ТЭК за счет введения экономических, экологических и квазидинамических уравнений, что расширяет возможности учета инвестиционных, бюджетных, экологических и межпериодных ограничений. Разработан численный метод стохастической корректировки параметров модели на основе когнитивных весов, позволяющий учитывать неопределенность экспертных оценок и формировать множество сценарных состояний ТЭК. Предложена формализованная фрактальная стратифицированная модель вычислительного эксперимента, отличающаяся совместным представлением математических и семантических моделей.

Практическая ценность работы подтверждается созданием многоагентного программного комплекса ИНТЭК-SAW, реализованного как web-ориентированное приложение и обеспечивающего поддержку полного цикла исследований: от семантического моделирования до проведения оптимизационных расчетов и интерпретации результатов. Комплекс включает агент формирования моделей, агент сценариев, агент семантического моделирования, агент-решатель и агент формирования отчетов. Работоспособность предложенных решений подтверждена серией вычислительных экспериментов с угрозами «Выбросы CO₂», «Маловодье», «Повреждение Уральского газотранспортного коридора» и «Дефицит инвестиций в развитие газовой отрасли 2025–2030 гг.». Результаты работы использованы в научно-исследовательской деятельности Института энергетики НАН Беларуси, а также в учебном процессе ИРНИТУ и ИГУ, что подтверждается соответствующими актами и справкой о внедрении. Программный комплекс передан в НИИ информационных технологий ХМАО (Югры).

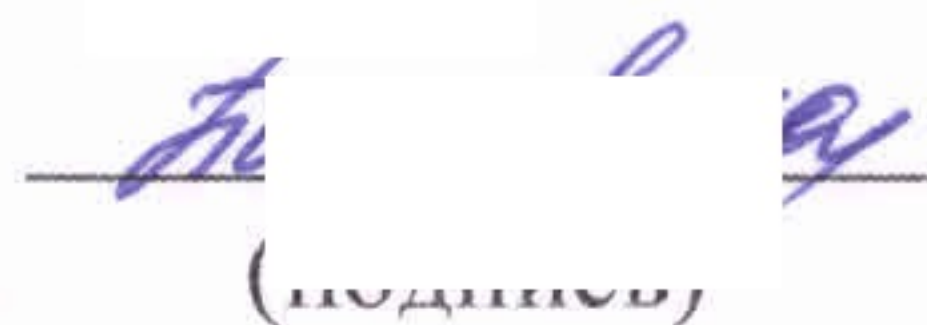
Диссертационная работа Мамедова Тимура Габилевича отвечает критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями). Работа написана самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты. Содержание диссертации и опубликованные работы свидетельствуют о достаточном вкладе автора в науку. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Источники заимствования материалов и отдельных результатов указаны в полном объеме. Основные результаты диссертации изложены с достаточной полнотой в рецензируемых научных изданиях. Работа соответствует направлениям исследований, указанным в паспорте специальности 1.2.2. Математическое

моделирование, численные методы и комплексы программ, в частности пунктам 3, 8 и 9.

Считаю, что диссертационная работа Мамедова Тимура Габировича «Методы, модели и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в прогнозных исследованиях топливно-энергетического комплекса» выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мамедов Тимур Габирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,
доцент,
заведующая кафедрой
информатики
и математического
моделирования


(подпись)

Марина Николаевна Полковская

Специальность, по которой присуждена ученая степень:

05.13.18. Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет
имени А.А. Ежевского»

Почтовый адрес (по месту работы): 664038, Иркутская область,
муниципальный район Иркутский, сельское поселение Молодежное, поселок
Молодежный, здание 1/1.

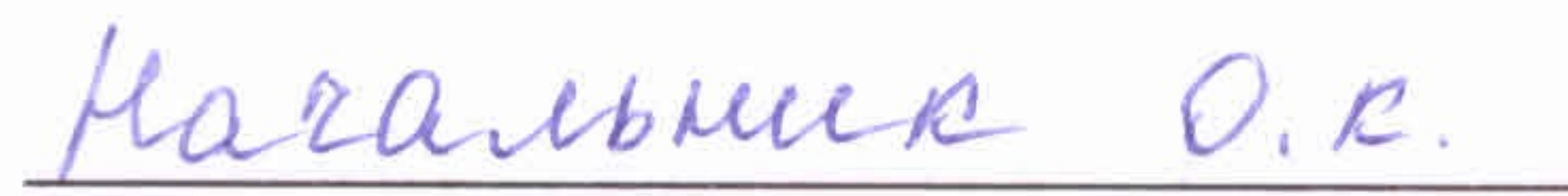
Телефон организации: +7 (3952) 237-330

E-mail организации: rector@igsha.ru

«15» 09 2026 г.

Подпись официального оппонента

Полковской Марины Николаевны заверяю:


(должность уполномоченного лица)

«15» 09 2026 г.

2
во)

