ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

**на Карманова Александра Арслановича,
автора диссертации «Модель и алгоритм предиктивного управления температурным режимом инерционных теплоэнергетических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

Диссертационная работа Карманова Александра Арслановича посвящена актуальной для специальности 1.2.2 задаче разработки математической модели динамики температурных и энергетических характеристик и алгоритма предиктивного управления инерционными теплоэнергетическими системами. Значимость исследования определяется необходимостью поддержания требуемого температурного режима и снижения энергопотребления таких систем при наличии нелинейной динамики, технологических ограничений и влияния внешних факторов.

В ходе подготовки диссертации соискателем самостоятельно проведён анализ исследований в области математического моделирования, предиктивного управления и его программной реализации. Сформулированы объект, предмет, цель, научная задача и три задачи исследования. Обоснована последовательность разработки математической модели, алгоритма нелинейного модельно-предиктивного управления и комплекса программ.

Первый новый научный результат – математическая модель динамики температурных и энергетических характеристик инерционных теплоэнергетических систем. Новизна результата заключается в использовании данных эксплуатационного мониторинга и задаваемой траектории управления как самостоятельных аргументов расчётной функции при прямом совместном расчёте характеристик на всём горизонте, а также в определении параметров модели численной минимизацией составной целевой функции соответствия данным и балансовой согласованности. Балансовая составляющая задаётся нормированными невязками дополнительной дискретной связи при предварительно определённых и фиксированных коэффициентах этой связи.

Второй новый научный результат – алгоритм нелинейного модельно-предиктивного управления, адаптированный к особенностям инерционных теплоэнергетических систем. В отличие от предметно адаптированной схемы Тверского и Румянцева он продолжает поиск менее энергозатратной траектории при ненулевом достигнутом значении температурной целевой функции, используя это значение как верхнюю границу ограничения энергетической задачи. Температурная и энергетическая задачи формируются и последовательно решаются численно по совместному выходу разработанной модели. Принятие

результатов сопровождается проверкой технической допустимости и установленных ограничений; при непринятии очередного результата выбирается исходная либо последняя принятая технически допустимая траектория управления.

Третий новый научный результат – комплекс программ предиктивного управления оборудованием инерционных теплоэнергетических систем. Новизна по сравнению с программным средством do-mpc состоит в объединении в единую вычислительную процедуру подготовки и проверки данных эксплуатационного мониторинга, совместного выполнения разработанных модели и алгоритма, проверки технической допустимости итоговой траектории управления и формирования расчётного протокола. Протокол содержит исходные данные, результаты решения задач, сведения о выполненных проверках и основания принятия итоговой траектории управления, обеспечивая воспроизводимость порядка получения расчётного результата.

Практическая значимость результатов подтверждена в рекурсивном вычислительном эксперименте на данных эксплуатационного мониторинга теплоэнергетической системы ледовой арены как репрезентативного объекта апробации. По сравнению с предметно адаптированным вариантом схемы Тверского и Румянцева на 26 суточных реализациях расчётное энергопотребление уменьшено на 10,87 %, интегральное температурное отклонение — на 25,30 %, доля времени вне требуемого температурного диапазона — на 10,43 процентного пункта. В отдельной серии измерений после предварительной загрузки параметров модели средняя продолжительность вычислительной процедуры составила 0,20 с. Максимальная продолжительность составила 3,81 с, или 1,27 % периода обновления управления, равного 300 с (5 мин), что подтверждает выполнение требования вычислительной оперативности в проведённой серии расчётов.

Достоверность результатов обоснована проверкой модели на отдельном временном интервале после фиксации её параметров, сопоставлением вариантов управления при одинаковых исходных условиях, проверкой технической допустимости результатов и сохранения достигнутых значений целевых функций. На интервале независимой проверки включение балансовой составляющей уменьшило нормированную балансовую невязку на 30,29 % при увеличении показателей ошибки расчёта характеристик не более чем на 1,90 %. Количественные оценки эффективности управления характеризуют принятую вычислительную постановку, использующую одну модель для выбора управления и рекурсивного расчёта характеристик. Подтверждение эффекта в действующем контуре управления требует натурной апробации.

В процессе работы над диссертацией А. А. Карманов проявил способность к самостоятельной постановке научной задачи, критическому анализу литературы, работе с эксплуатационными данными, разработке математических моделей и алгоритмов, программной реализации вычислительных экспериментов

и содержательной интерпретации полученных результатов. Соискатель продемонстрировал высокий уровень исследовательской дисциплины, владение современными инструментами анализа данных и численной оптимизации, а также умение доводить теоретические результаты до воспроизводимой программной реализации.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 6 научных статьях, в том числе в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, определённых ВАК при Минобрнауки России, и в 1 статье в издании, индексируемом в международной цитатно-аналитической базе Scopus. По результатам исследования получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты апробированы на 5 научных мероприятиях, в рамках которых представлены 6 докладов, внедрены в практическую деятельность и используются в учебном процессе.

Считаю, что диссертация Карманова Александра Арслановича на тему «Модель и алгоритм предиктивного управления температурным режимом инерционных теплоэнергетических систем» соответствует требованиям «Положения о присуждении в Финансовом университете ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук», утверждённого приказом Финансового университета от 30.08.2019 № 1714/о, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, и может быть рекомендована к защите в диссертационном совете Финансового университета.

Научный руководитель,
доцент Кафедры искусственного интеллекта
Факультета информационных технологий и анализа больших данных
федерального государственного образовательного бюджетного учреждения
высшего образования «Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации»,
кандидат педагогических наук (5.8.2), доцент

Никитин Петр Владимирович

7 сентября 2026 г.

125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 49/2
телефон: 8-499-700-86-00 доб. 4789
e-mail: pvnikitin@fa.ru