



ул. Кантемировская д. 8, Санкт-Петербург,
Россия, 197342 Тел. (812) 295-50-69,
Факс (812) 542-18-49

www.inteltech.ru E-mail: intelteh@inteltech.ru
ОКПО 07503490, ОГРН 1027801525608,
ИНН/КПП 7802030605/781401001

01.09.2026 № НТЗ-5-02/108

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
по научно-техническому развитию
доктор технических наук, доцент

И.А. Кулешов

«_01_» сентября 2026 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Цыбикова Алексея Ринчиновича на тему: «Методический подход к построению цифровых двойников энергетических объектов с применением моделей машинного обучения (на примере солнечной электростанции)», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы. Актуальность выполненной работы определяется задачами цифровизации энергетики и необходимостью разработки инструментов, обеспечивающих моделирование, прогнозирование и интеллектуальный анализ поведения энергетических объектов.

При обосновании актуальности исследования соискателем выявлено противоречие в теории и практике предметной области, между необходимостью интеллектуализации цифровых двойников, и недостаточным уровнем развития научного инструментария для их проектирования.

Для разрешения данного противоречия автором сформулированы **цель исследования** – разработка методического подхода к построению умных цифровых двойников энергетических объектов с использованием интеллектуальных технологий, в частности, моделей машинного обучения; **объект исследования** – энергетические объекты – солнечные электростанции, включающие фотоэлектрические модули, инверторное оборудование, системы накопления электроэнергии, коммутационное, измерительное и управляющее оборудование, а также средства сбора и передачи данных; **предмет исследования** – методы построения умных цифровых двойников для проектирования солнечных электростанций, которые соответствуют паспорту специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

В связи с этим диссертационное исследование Цыбикова А.Р., направленное на разработку цифровых двойников является *актуальным*.

Для достижения поставленной в работе цели соискателем сформулирована и решена **актуальная научная задача** которая заключается в комплексном подходе к построению умного цифрового двойника солнечной электростанции, объединяющем

математическое моделирование энергетического объекта, семантическое описание предметной области, интеллектуальные методы анализа данных и виртуальную среду.

В процессе исследований по разрешению научной задачи автором **получены результаты, обладающие новизной:**

1. Предложен методический подход к построению ЦД СЭС, отличающийся интеграцией математических и семантических моделей с компонентами машинного обучения и включающий методику построения умного цифрового двойника энергетического объекта и численный метод ансамблирования моделей с динамическим выбором на основе состояния внешней среды.
2. Построены агрегированная математическая модель СЭС и формализованная модель умного цифрового двойника на основе модификации базовой модели цифрового двойника, отличающаяся добавлением описаний моделей искусственного интеллекта, базы знаний и виртуальной среды.
3. Выполнена адаптация численного метода ансамблирования моделей машинного обучения с динамическим выбором, отличающаяся использованием онтологий и учётом состояния внешней среды.
4. Предложена методика построения виртуальной среды, отличающаяся возможностью эмуляции данных для отладки цифрового двойника (научного прототипирования).
5. Разработана агентно-сервисная архитектура умного цифрового двойника энергетического объекта и выполнена реализация программного комплекса, интегрирующего вычислительное ядро, цифровую тень и виртуальную среду, и являющегося научным прототипом цифрового двойника солнечной электростанции.

Достоверность результатов, полученных в диссертации, обеспечивается: разработанными и корректными математическими моделями компонентов солнечных электростанций и методами машинного обучения, применением реальных и эмулированных данных при исследовании виртуальной среды цифрового двойника солнечной электростанции, сравнительным анализом результатов работы моделей машинного обучения по стандартным метрикам качества.

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии научно-методических основ построения цифровых двойников.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью применения предложенных решений при создании специализированных программных средств и проведении вычислительных исследований в энергетике.

Личный вклад соискателя состоит в разработке методического подхода, включающего методику построения умного цифрового двойника солнечной электростанции и виртуальной среды. Результаты, составляющие новизну и выносимые на защиту, получены лично автором, в частности, предложены модель умного цифрового двойника, модель солнечной электростанции для интеграции в цифровой двойник, метод ансамблирования моделей машинного обучения. Автором разработаны архитектура и программные компоненты умного цифрового двойника, а также проведён вычислительный эксперимент для определения погодных характеристик для цифровых двойников.

В качестве **замечаний и недостатков** автореферата можно отметить:

1. В методе EnvSwitch выбор модели прогнозирования зависит от текущего состояния внешней среды. Возникает вопрос, насколько результат работы метода чувствителен к положению границ между такими состояниями и требуется ли их дополнительная корректировка при переносе подхода на данные другого объекта или другого климатического периода.

2. Динамическое изменение состояния внешней среды может приводить к переключению между различными моделями машинного обучения. Представляется полезным уточнить, может ли такое переключение вызывать скачкообразное изменение прогнозируемой величины и предусматривается ли в программной реализации механизм сглаживания или согласования прогнозов в переходных режимах.

В то же время, выявленные замечания и недостатки не ставят под сомнение теоретическую и практическую значимость основных научных результатов, полученных в диссертации, и не снижают её общую положительную оценку.

Вывод: судя по автореферату, диссертация Цыбикова Алексея Ринчиновича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством и содержащей новые научные результаты решения актуальной научной задачи, имеющей существенное значение для развития методов математического моделирования и программных средств. Диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, раздела II «Положения о присуждении учёных степеней» (утв. постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842) а её автор, Цыбиков А.Р., заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Автореферат и отзыв на автореферат Цыбикова А.Р. обсуждены и одобрены на заседании теоретической секции НТС ПАО «Интелтех», протокол № 15-26 от «_01_» сентября 2026 г.

Отзыв подготовил:

Ведущий специалист по информационным технологиям ПАО «Интелтех»
доктор технических наук, доцент

Дорогов Александр Юрьевич

Подпись доктора технических наук, доцента Дорогова Александра Юрьевича
заверяю.

Начальник отдела
кадрового администрирования
«01» сентября 2026 г. МП



на

дел