

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
24.2.347.04 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28 апреля 2026 протокол № 1

О присуждении Садкину Ивану Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Комплексный анализ установок на основе CO<sub>2</sub> циклов с кислородным сжиганием метана» в виде рукописи по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы, принята к защите 17 февраля 2026 г., протокол № 2, диссертационным советом 24.2.347.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №1343/нк от 24.10.2022 г.

Соискатель Садкин Иван Сергеевич 1998 года рождения, гражданин России, в 2022 году окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению подготовки 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника», выдан диплом с отличием, присвоена квалификация «Магистр». В настоящее время Садкин И.С. обучается в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре тепловых электрических станций по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы». Плановый срок обучения в аспирантуре – с 01.09.2022 по 31.08.2026 г.

С 2020 года и по настоящее время соискатель, Садкин Иван Сергеевич, работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе» Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории экологических проблем теплоэнергетики в должности инженера-исследователя, с 2025 года в должности младшего научного сотрудника; также по совместительству с 2022 года Садкин И.С. работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре тепловых электрических станций, с 2025 года в должности старшего преподавателя.

Диссертация выполнена на кафедре тепловых электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Щинников Павел Александрович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра тепловых электрических станций, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

**Стрижак Павел Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова, профессор;

**Киндра Владимир Олегович**, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра инновационных технологий наукоемких отраслей, доцент;

**дали положительный отзыв на диссертацию.**

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет») в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой теплотехники и гидрогазодинамики, д.т.н., профессором В.А. Кулагиным и доцентом кафедры теплотехники и гидрогазодинамики, к.ф.-м.н. Е.Б. Истягиной, утвержденном проректором по научной работе, к.т.н., Д.В. Капулиным, указала, что диссертационная работа Садкина Ивана Сергеевича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение научной задачи по созданию научно-методической базы для разработки углерод-нейтральных технологий производства электроэнергии на основе органического топлива, имеющей существенное значение для теории и практики развития энергетической отрасли в условиях глобальной декарбонизации и стратегии низкоуглеродного развития энергетики. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы» и соответствует критериям, установленным п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 36 опубликованных работ по теме диссертации, из них, опубликованных согласно перечню российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК) – 2, а также работ в научных изданиях, индексируемых

базами Scopus и/или Web of Science – 10, 20 – в трудах всероссийских и международных конференций, получено 2 патента РФ на изобретения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

В совместных публикациях вклад автора равнозначный, результаты получены лично автором. Представление изложенных в диссертации и выносимых на защиту результатов, полученных в совместных исследованиях, согласовано с соавторами. Общий объем научных изданий – 12,6 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Садкин И.С. Новая технология на основе цикла Аллама с внутрицикловой газификацией угля / М.Е. Таценко, И.С. Садкин, П.А. Щинников // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2025. – №27 (6). – С. 124-134.

2. Садкин И.С. Энергетические особенности CO<sub>2</sub>-циклов при кислородном сжигании метанола / П.А. Щинников, И.С. Садкин, О.В. Боруш, Р.В. Романенко // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – №26 (4). – С. 150-159.

3. Садкин И.С. Влияние термодинамических параметров на энергетические характеристики CO<sub>2</sub>-циклов при кислородном сжигании метана / С.В. Алексеенко, П.А. Щинников, И.С. Садкин // Теплофизика и Аэромеханика. – 2023. – Т. 30, № 1. – С. 89-98.

4. Sadkin I.S. Analysis of energy consumption for auxiliaries of zero emissions sCO<sub>2</sub> power plants / I.S. Sadkin, O.V. Borush, P.A. Shchinnikov // Energy Conversion and Management. – 2025. – Vol. 323. – Art. No. 119266.

5. Sadkin I.S. Influence of the proportion of the working fluid renewal on semi-closed oxy-fuel sCO<sub>2</sub> power cycles efficiency indicators / I.S. Sadkin, P.A.

Shchinnikov // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2025. – Vol. 50. – P. 4753–4769.

6. Sadkin I.S. Thermodynamic features of the regenerative system of direct fired sCO<sub>2</sub> power cycles with oxygen combustion of methane / I.S. Sadkin, P.A. Shchinnikov // Applied Thermal Engineering. – 2023. – Vol. 234. – Art. No. 121301.

7. Садкин И.С., Щинников П.А. Способ производства электроэнергии на основе закритического СО<sub>2</sub>-цикла // Патент на изобретение №2810854. Дата государственной регистрации в Реестре изобретений 06 июля 2023 г., Опубликовано: 28.12.2023 Бюл. № 1.

На автореферат поступило 9 отзывов, все отзывы положительные:

1. Ведрученко Виктор Родионович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения»; Финиченко Александра Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры «Теплоэнергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения»; отметили, что существенные замечания по автореферату отсутствуют.

2. Чичирова Наталия Дмитриевна, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные и тепловые электрические станции» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»; Евгеньев Игорь Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомные и тепловые электрические станции» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» выразили замечания, что из текста автореферата не ясно,

учитывались ли в технико-экономическом анализе затраты на систему транспортировки и захоронения выведенного из цикла диоксида углерода; не указаны сроки окупаемости внедрения рассматриваемых вариантов установок на основе CO<sub>2</sub> циклов для производства электроэнергии.

3. Николаев Юрий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Тепловая и атомная энергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»; Ларин Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Тепловая и атомная энергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» указали на то, что не рассматриваются дополнительные затраты на создание и эксплуатацию хранилища CO<sub>2</sub>; не учитываются режимы эксплуатации ТЭС в условиях изменения температуры среды в течение года; при определении себестоимости электроэнергии не указана область значений, соответствующих разным оценкам капиталовложений.

4. Донской Игорь Геннадьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом теплосиловых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, подчеркнул, что в тексте автореферата присутствует смешанная терминология; не приведена оценка влияния других горючих газов, помимо метана, входящих в состав природного газа, на показатели эффективности CO<sub>2</sub> циклов; не рассмотрено развитие предложенных подходов к другим топливам, например, смесям природного газа с водородом, продуктам газификации угля, отходам нефтепереработки; в тексте автореферата не представлен выбор коэффициентов для

аппроксимаций оценок капиталовложений; не приведены интервальные оценки капиталовложений с учетом имеющейся погрешности расчетов.

5. Рябов Георгий Александрович, доктор технических наук, заведующий лабораторией специальных котлов отделения парогенераторов и топочных устройств АО «ВТИ», г. Москва; Тугов Андрей Николаевич, доктор технических наук, заведующий отделением парогенераторов и топочных устройств АО «ВТИ», г. Москва обратили внимание на то, что не следовало бы употреблять прямой перевод «оxy-fuel» как «кислородно-топливное», так как не употребляется «воздушно-топливное» сжигание; в главе 4 следовало бы указать, для какой мощности ведутся расчеты; к рисунку 10а следовало бы дать пояснения, почему схема 2 дает рост удельных капитальных затрат с увеличением температуры сжигания, а для других схем происходит снижение затрат; было бы полезно дать пояснения сценарным условиям расчета себестоимости электроэнергии.

6. Орлов Михаил Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»; Пазушкина Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» заметили, что из текста автореферата не ясно, каким образом в разработанной системе уравнений материального и теплового балансов учитывается фактор непрерывного обновления рабочего тела и изменение его состава в ключевых точках цикла; не очевидно, какой из четырех предложенных вариантов архитектуры CO<sub>2</sub> цикла демонстрирует максимальное значение термического

КПД; не описано, в чем проявляется мультипликативный эффект от внедрения CO<sub>2</sub> энергоблоков.

7. Седнин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета выразил замечание о том, что на странице 10 автореферата уравнение скорее отражает результаты процесса теплообмена между потоками рабочего тела в регенераторе, а не сам процесс теплообмена, поэтому название уравнения, возможно, следовало бы скорректировать; отметил, что в тексте автореферата не представлено, какие показатели учитывались при его определении мультипликативного эффекта.

8. Замалеев Мансур Масхутович, доктор технических наук, доцент, генеральный директор Общества с ограниченной ответственностью «Научно-технологический центр «ЛИДЕР» указал на то, что из автореферата не ясно, рассматривалась ли возможность работы установки на переменных режимах и каково влияние режимов частичной нагрузки на эффективность; в автореферате отсутствует анализ влияния единичной мощности установки на удельные капиталовложения и себестоимость электроэнергии.

9. Горшенин Сергей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой тепловых электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»; Козлова Мария Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» отметили, что из текста автореферата неясно, в чем заключается заключение физического смысла показателя генерация углекислоты на захоронение на уровне 90 г/МДж выработанной

энергии; в автореферате не указано для какого типа воздуходелительных установок выполнена оценка энергопотребления; не указаны требования к чистоте получаемого кислорода; непонятно каким образом осуществляется расчет энтальпии продуктов сгорания и кислорода; не ясно, каким образом при расчете эффективности предложенных технических решений по производству электроэнергии на основе  $\text{CO}_2$  циклов учитываются потери от наружного охлаждения оборудования.

Выбор официальных оппонентов обосновывается высокой квалификацией специалистов, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Так, область научных интересов доктора физико-математических наук, профессора, члена-корреспондента РАН Стрижака Павла Александровича связана с экспериментальными и теоретическими исследованиями в области малоэмиссионных энергетических установок и систем энергетики на органическом топливе; кандидата технических наук Киндры Владимира Олеговича – с энергетическими установками на углекислом газе в качестве рабочего тела; разработкой алгоритмов, методик и рекомендаций для моделирования кислородно-топливных энергетических комплексов с углекислотным рабочим телом; параметрической оптимизацией кислородно-топливных энергетических комплексов на углекислом газе.

Выбор ведущей организации ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» обусловлен широкой известностью и достижениями в области теплоэнергетики и тепломассопереноса, разработки технических решений для топливно-энергетического комплекса, что подтверждается трудами ведущих научных сотрудников, ученых, преподавателей и специалистов данной организации, а так же взаимодействием с индустриальными партнерами и ведущими энергетическими компаниями страны.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** научные основы для создания углерод-нейтральных технологий производства электроэнергии на основе органического топлива;

**предложен** комплекс методов термодинамического, энергетического и технико-экономического анализа кислородно-топливных энергетических установок на углекислом газе;

**доказаны** взаимосвязи между входными термодинамическими параметрами кислородно-топливных  $\text{CO}_2$  циклов различной архитектуры и показателями энергетической и технико-экономической эффективности энергоустановок на их основе;

**введено** понятие доли обновления рабочего тела в камере сгорания кислородно-топливных  $\text{CO}_2$  циклов, используемое в методах термодинамического анализа данных циклов, для определения их эффективности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказаны** положения и методики, вносящие вклад в развитие методов термодинамического, энергетического и технико-экономического анализа установок на основе  $\text{CO}_2$  циклов с кислородным сжиганием метана, включая учет факторов непрерывности обновления рабочего тела и непостоянства его состава, что расширяет границы применимости полученных результатов для проектирования углерод-нейтральных энергоблоков;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих базовых методов исследования, включая методы термодинамического анализа на основе уравнений материального и теплового балансов, энергетические методы определения потерь и собственных нужд, а также метод степенной параметрической оценки капиталовложений;

**изложены** взаимосвязи между термодинамическими параметрами (температурой, давлением) и термическим КПД, затратами электроэнергии

собственных нужд, КПД нетто, удельными капиталовложениями и себестоимостью электроэнергии для четырёх вариантов CO<sub>2</sub> циклов;

**раскрыта** неоднозначность существующих оценок энергетической и технико-экономической эффективности CO<sub>2</sub>-установок, обусловленная отсутствием единообразного подхода к анализу и масштабной практической реализации;

**изучены** причины более высоких затрат на собственные нужды в сравнении с другими технологиями генерации электроэнергии на органическом топливе, а также зависимости между параметрами рабочего тела и капиталовложениями в оборудование.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработан** комплекс методов, который позволяет расчетным путем определить термодинамические, расходные и технические показатели, необходимые для проектирования новых типов энергоблоков;

**определены** взаимосвязи между термодинамическими, энергетическими и технико-экономическими показателями, которые могут быть использованы при разработке новой и перспективной энергетической техники, отражая параметры для достижения наиболее высокой эффективности;

**создана** научно-методическая база обоснования перспектив создания углерод-нейтральной технологии производства электроэнергии с использованием CO<sub>2</sub> цикла;

**представлены** новые технические решения, защищенные патентами РФ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**теория** построена на основе фундаментальных методов термодинамического анализа энергетических установок, методов анализа на основе законов сохранения энергии и массы;

**использованы** апробированные и хорошо себя зарекомендовавшие подходы для решения задач подобного класса;

установлено хорошее соответствие полученных результатов и выводов с известными данным, полученным другими авторами в России и за рубежом.

Личный вклад соискателя состоит в разработке методов исследования и расчетных алгоритмов, проведении расчетов, анализе результатов. Все разработки и результаты исследований, изложенные в основном тексте диссертации без ссылок на другие источники, получены лично автором. В совместных публикациях вклад автора равнозначный. Представление изложенных в диссертации и выносимых на защиту результатов, полученных в совместных исследованиях, согласовано с соавторами.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Акцент в диссертации сделан на сжигании метана. Целесообразно привести оценки, насколько изменятся ключевые результаты и выводы диссертационной работы при использовании наиболее реальных для России и мире газовых составов.

2. В работе не учитывались затраты на захоронение  $\text{CO}_2$ .

Соискатель Садкин Иван Сергеевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Метан выбран в качестве модельного топлива, так как является основным компонентом природного газа, а свойства метана хорошо известны. Переход к использованию метана в смеси с этаном/пропаном/бутаном (и другими предельными углеводородами группы алканов) ведет к изменению показателей эффективности в пределах 1–2%. Ключевые результаты и выводы сохраняют свою актуальность при использовании стандартного природного газа России (СНиП 2.04.08-87) с содержанием метана 85–98%. Существенное изменение ключевых показателей наблюдается при переходе к использованию синтез-газа.

2. Данные затраты не учитывались, так как они будут сопоставимыми для любых тепловых электростанций, улавливающих  $\text{CO}_2$ .

На заседании 28 апреля 2026 г. диссертационный совет принял решение:

за решение научной задачи, имеющей существенное значение в области разработки методов анализа установок на основе кислородно-топливных  $\text{CO}_2$  циклов, направленных на снижение антропогенного воздействия при производстве электроэнергии на органическом топливе присудить **Садкину Ивану Сергеевичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 10, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,

доктор физико-математических наук,  
академик РАН

Сергей Владимирович  
Алексеев

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук,

Олеся Владимировна  
Боруш

28 апреля 2026 года