

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28 ноября 2023 г., № 14

О присуждении Печенкину Александру Вадимовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Утилизация водородсодержащих отходов нефтепереработки в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом» по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы принята к защите 19 сентября 2023 г., протокол № 11 диссертационным советом 24.2.310.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, приказ № 1181/нк от 12.10.2022 г.

Соискатель Печенкин Александр Вадимович, 09.10.1996 года рождения, в 2020 году окончил ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», диплом магистра с отличием № 1016350000056, в 2020 году поступил в аспирантуру в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедру «Химия и водородная энергетика» по направлению «Энергетические системы и комплексы».

Печенкин Александр Вадимович работает в должности младшего

научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории «Изучение процессов в гибридной энергетической установке топливный элемент – газовая турбина» в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Филимонова Антонина Андреевна, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», кафедра «Химия и водородная энергетика», доцент кафедры.

Официальные оппоненты:

1. **Рябов Георгий Александрович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт», лаборатория «Специальных котлов» отделения парогенераторов и топочных устройств, заведующий лабораторией;

2. **Шалухо Андрей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кафедра «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», доцент кафедры

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Драгуновым Виктором Карповичем, проректором по научной работе, Яворовским Юрием Викторовичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Промышленных теплоэнергетических систем», **указала**, что представленные в рассмотренной работе результаты исследования являются значимым вкладом в развитие технологии тепловых электростанций и автономных систем энергоснабжения за счет создания

эффективных систем выработки энергии, работающих на отходах промышленного производства. Поставленные задачи в диссертационной работе раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации диссертанта были обоснованы, а полученные им научные результаты имеют существенное значение для практики. Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пп. 9-14 Положение о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. в редакции от 18.03.2023 г.) и рекомендуется к защите по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ по теме диссертации общим объемом 8,5 печатных листа и авторским вкладом 3,27 печатных листа; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS / Web Of Science – 5, объемом 2,98 печатных листа и авторским вкладом 1,19 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы – 2, объемом 2,31 печатных листа и авторским вкладом 0,9 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по другим специальностям – 2, общим объемом 2,07 печатных листа и авторским вкладом 0,8 печатных листа; работ, опубликованных в материалах и тезисах международных научных конференций – 4, общим объемом 0,697 печатных листа и авторским вкладом 0,38 печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Филимонова А.А. Исследование влияния состава топлива на показатели работы гибридных энергетических установок с топливными элементами / А.А.

Филимонова, А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова, А.В. Печенкин, А.С. Виноградов // Экология и промышленность. 2023. №6. С. 4-9.

2. Iliev I.K. Theoretical and Experimental Studies of Combined Heat and Power Systems with SOFCs / I.K. Iliev, A.A. Filimonova, A.A. Chichirov, N.D. Chichirova, A.V. Pechenkin, A.S. Vinogradov // Energies. 2023. 16 (4). P. 1898.

3. Filimonova A.A. Technological Scheme of a Solid Oxide Fuel Cell – Microturbine Hybrid Power Plant for Electricity Production / A.A. Filimonova, A.A. Chichirov, A.V. Pechenkin, A.S. Vinogradov // International Journal of Intelligent systems and applications in engineering. 2023. 11(3). P. 301-306.

4. Beloev I. Numerical Simulation of Solid Oxide Fuel Cell Energy Production Processes. / I. Beloev, A.A. Filimonova, A.V. Pechenkin, A.R. Gizzatullin, A.S. Vinogradov, I.K. Iliev // Engineering Proceedings. 2023. 41(1). 11.

5. Филимонова А.А. Устройства, принцип действия и эффективность риформинга углеводородного топлива в электрохимических энергетических системах / А.А. Филимонова, А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова, А.В. Печенкин // Теплоэнергетика. 2023. №8. С. 75-85.

На диссертацию и автореферат поступило **9** отзывов, все положительные. В 7 отзывах содержатся следующие замечания:

1) В отзыве доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск) **Веселовской Елены Вадимовны** имеются замечания:

1. В автореферате не указана технология изготовления разработанных соискателем адсорбентов и не указаны методики определения их поглощающей способности. Данные сведения имеют определенное методологическое значение и заслуживают обязательного упоминания в автореферате.

2. Приведенная на рис. 2 стр. 9 автореферата технологическая схема блока сорбции углекислого газа была бы более информативной не в виде принципиальной схемы, а в виде балансовой схемы потоков, построенной по

результатам результатов экспериментальных лабораторных исследований с указанием диапазонов оптимальных доз реагентов.

2) В отзыве доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Атомных станций и возобновляемых источников энергии» ФАГОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург) **Щеклейн Сергея Евгеньевича** и доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Теплоэнергетики и теплотехники» ФАГОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», **Дубинина Алексея Михайловича** имеются замечания:

1. Что понимается под обозначением «общий КПД».
2. Что понимается под обозначением «электрическая эффективность» (стр. 13 табл. 4).
3. КПД общий гибридной системы (стр. 14).
4. Каково отношение мощности ГТ к мощности ТОТЭ, кВт.

3) В отзыве доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, руководителя научного направления «Энергетика» ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук» (г. Казань) **Шлянникова Валерия Николаевича** имеется замечание:

1. Из текста автореферата не ясно, какие граничные условия были заданы при цифровом моделировании твердооксидного топливного элемента.

4) В отзыве доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (г. Самара) **Зиганшиной Светланы Камилловны** имеются замечания:

1. На схеме гибридной энергоустановки, изображенной на рис. 3, указана аббревиатура ПГЭ, однако в автореферате отсутствует ее расшифровка, не обозначен электрогенератор ЭГ и для какой цели между воздушным фильтром ВФ и дожимным компрессором ДК установлена горелка Г.

2. В пояснениях к уравнению (1), приведенных на стр. 12 автореферата, имеются неточность в обозначении единиц измерения некоторых величин. Поскольку мощность P указана в кВт, тогда массовые m потоков нужно было указать в кг/с, низшую удельную теплоту сгорания L_T топлива и энтальпии h потоков – в кДж/кг.

5) В отзыве кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Химия и экология» Набережночелнинского института (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (г. Набережные Челны) **Маврина Геннадия Витальевича** имеется следующее замечание:

1. На стр. 8 при характеристике состава топливного газа дается ссылка на таблицу 1, где приводятся сведения о сорбентах сероводорода. В Автореферате не приведен способ утилизации отработанных сорбентов после поглощения сероводорода, а также не обсуждено обращение с отходами, которые образуются после поглощения углекислоты растворами щелочей

6) В отзыве доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «АСУТП» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва) **Аракеляна Эдика Койруновича** имеется следующее замечание:

1. При проведении расчетных и экспериментальных исследований, а также балансовых расчетов, не указаны с какой погрешностью они проведены и насколько адекватны полученные результаты

7) В отзыве кандидата технических наук, доцента кафедры «Строительства, энергетики и транспорта» ФГАОУ ВО «Мурманский Арктический Университет» (г. Мурманск) **Малышева Владимира Сергеевича** имеется следующее замечание:

1. В качестве замечания, можно отметить отсутствие в автореферате

информации об энергетических расходах, требуемых для реализации предложенных технологий, а также оценки себестоимости получаемой энергии.

8) В отзыве доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета (г. Минск) **Карницкого Николая Борисовича** замечания отсутствуют.

9) В отзыве кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Теплоэнергетика и холодильные машины» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (г. Астрахань) **Ильина Романа Альбертовича** замечания отсутствуют.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент **Рябов Георгий Александрович** является доктором технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», экспертом в области утилизации отходов и вторичных энергоресурсов для выработки энергии, а также декарбонизации предприятий промышленного и энергетического сектора.

Официальный оппонент **Шалухо Андрей Владимирович** является кандидатом технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», экспертом в области применения твердооксидных топливных элементов для электроснабжения предприятий.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, занимается научной деятельностью по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологии. Научные направления деятельности сотрудников кафедры «Промышленные теплоэнергетические системы» - разработка

высокоэффективных энерготехнологических систем и комплексов предприятий промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, математическое моделирование и оптимизация энерготехнологических систем, включая энергоустановки по производству и использованию водорода. Сотрудники кафедры имеют соответствующие публикации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная идея переработки водородсодержащих газовых отходов предприятий нефтехимического сектора с десульфуризацией и получением энергии в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом;

разработана математическая модель и алгоритм расчета гибридной энергосистемы, учитывающие элементы, аппараты, блоки, подсистемы, схемы движения материальных потоков для эффективной утилизации газообразных отходов нефтепереработки;

разработана модель высокотемпературного топливного элемента, позволяющая проводить одновременный расчет гидродинамических, электрохимических и тепломассообменных процессов;

предложен метод десульфуризации газообразных отходов нефтепереработки с использованием разработанных композиций сорбентов-индикаторов с остаточным содержанием соединений серы менее 1,5 ppm;

доказана возможность использования углеводородных газовых отходов нефтеперерабатывающих предприятий в качестве топлива энергетических установок после предварительной десульфуризации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность разработанных математических моделей и методик расчета, расширяющих границы процесса производства энергии из водородсодержащих газовых отходов глубокой переработки нефти в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс методов расчета энергогенерирующего оборудования, в том числе методы математического моделирования высокотемпературного топливного элемента и газовой турбины, а также совокупность методов физико-химических исследований;

изложены этапы разработки процесса улавливания CO₂ при производстве энергии из водородсодержащих газовых отходов глубокой переработки нефти в гибридной энергосистеме: научная идея, математическое моделирование, лабораторные исследования, реализация на макетном уровне;

изучено влияние изменения начальных параметров, таких как, состав используемого топлива, расход и температуры топлива, воздуха и воды (пара) на технические характеристики гибридной энергосистемы.

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

разработаны и внедрены (имеется акт об использовании результатов) в результаты научных исследований по утилизации газообразных водородсодержащих отходов нефтеперерабатывающих предприятий с получением электроэнергии на Нижнекамской ТЭЦ;

определены перспективы использования разработанной технологии утилизации газовых отходов с получением энергии на нефтехимических предприятиях;

представлены методики прогнозирования на основе разработанной цифровой модели рабочих параметров гибридной энергетической системы.

Оценка достоверности результатов исследований выявила, что результаты получены на сертифицированном контрольно-измерительном оборудовании, применены методики ГОСТ, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

расчет гибридной энергосистемы выполнен с учетом законов сохранения энергии, вещества и не противоречит базовым законам гидродинамики,

термодинамики, физики, химии и информатики, а также исследованиям других авторов, опубликованных в литературе по данной тематике;

идея создания метода декарбонизованного процесса производства энергии из водородсодержащих газовых выбросов нефтепереработки в гибридной энергосистеме **базируется** на анализе литературных данных и обобщении передового опыта исследований по данной тематике;

использованы апробированные методики математического и статистического анализа при обработке полученных результатов;

установлена сходимость результатов расчета по разработанной модели с характеристиками реального твердооксидного топливного элемента.

Личный вклад соискателя состоит в участии во всех этапах получения результатов, в самостоятельном проведении теоретических и лабораторных исследований и экспериментов, обработке экспериментальных данных, в построении цифровых моделей, характеризующих происходящие процессы в топливной ячейке и сопоставлении полученных результатов с экспериментальными данными, в подготовке докладов, выступлений на конференциях и написании статей.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. За счет чего будет достигаться экономическая эффективность предлагаемых гибридных систем? Рассчитывался ли экономический эффект от получаемой в системе тепловой энергии?
2. Нет достаточных пояснений к расчету общего КПД системы. Очень он велик, в варианте 2 теряется всего 1,7 %. Даже тепловые потери на аппаратах будут больше.

Соискатель Печенкин А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. В рассматриваемом расчете учитывали только экономический эффект при генерации электрической энергии. Получаемое тепло не учитывалось при расчете экономического показателя, потому что генерируемое тепло

используется в самой системе для устройства предварительного риформинга, подогрева воздуха, генерации пара, подогрева топлива. Сгенерированный пар необходим для осуществления процесса внешнего риформинга водородсодержащих отходов нефтехимического предприятия.

2. При расчете общего КПД системы учитывалось отношение полученной тепловой и электрической энергии к расходу топлива. Разница между «вариантом-1» и «вариантом-2» заключена в способе использования топлива. В первом варианте смешиваем поток синтез-газа из ТОГЭ с метаном, получаем экономию в виде меньшего расхода метана и большое количество выхлопных газов, которые идут на выработку тепловой энергии. В варианте 2 происходит дополнительный подогрев метана перед камерой сгорания турбины, что повышает температуру топлива на входе в ГТУ, позволяет получить больше тепловой энергии за счет использования чистого метана, но такой режим в целом выдает меньшее количество пара за счет меньшего расхода топлива. Разница в 1,7% получена с учетом тепловых потерь в используемых блоках гибридной системы, которая составляет 10% в каждой точке.

Диссертационный совет рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Печенкина А.В. в научно-исследовательских учреждениях и лабораториях, занимающихся исследованием, разработкой и применением топливных элементов, газовых турбин, а также рекомендовал в научно-образовательном процессе в профильных высших учебных заведениях. Полученные в работе результаты могут быть использованы на АО «Танеко», ПАО «Нижекамскнефтехим», ПАО «Казаньоргсинтез» и других предприятиях с аналогичным составом газовых отходов, а также на предприятиях, производящих электрическую и тепловую энергию.

Диссертация Печенкина А.В. «Утилизация водородсодержащих отходов нефтепереработки в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом» соответствует критериям п. 9 – 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на

соискание ученой степени кандидата наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи производства энергии из водородсодержащих газовых отходов глубокой переработки нефти в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом.

На заседании 28 ноября 2023 года, протокол № 14, диссертационный совет за новые научно обоснованные ресурсосберегающие технические, технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития топливно-энергетического комплекса принял решение присудить Печенкину А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета



Ваньков Юрий Витальевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Зиганшин Шамиль Гаязович

28 ноября 2023 г.