



КГУУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НК ФГБОУ ВО «КГУУ»

И.В. Ившин

« 29 » \_\_\_\_\_ 2023

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «КГУУ»

Диссертационная работа «Утилизация водородсодержащих отходов нефтепереработки в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом» выполнена на кафедре «Химия и водородная энергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Печенкин Александр Вадимович являлся аспирантом на кафедре «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» с 2020 года по настоящее время.

В 2018 году Печенкин А.В. закончил бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», диплом с отличием №ИТЕ-5625 от 9 июля 2018 ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

В 2020 году Печенкин А.В. присуждена степень магистра по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», диплом с отличием №ИТЕ-6727 от 10.07.2020.

Научный руководитель – Антонина Андреевна Филимонова, доктор технических наук, доцент кафедры «Химия и водородная энергетика».

Диссертационная работа Печенина Александра Вадимовича «Утилизация водородсодержащих отходов нефтепереработки в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом» обсуждалась на расширенном заседании кафедр «Атомные и тепловые электрические станции» и «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». По итогам обсуждения на заседании принято заключение:

**Актуальность темы диссертационной работы**

На нефтеперерабатывающих заводах или химических предприятиях с водородным производством основным отходом являются углеводородные газовые смеси, которые можно использовать в качестве топлива.

В республике Татарстан действует несколько установок по производству водорода в процессах нефтепереработки (АО «ТАНЕКО», АО «ТАИФ-НК») и производства химических



продуктов (ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Казаньоргсинтез», АО «Аммоний», АО «Нэфис Косметикс»). Основными областями применения водорода в республике являются очистка моторных топлив, процессы гидрирования (гидрогенизация) углеводородов и использование в системах охлаждения электротурбогенераторов ТЭС. Согласно Стратегии развития топливно-энергетического комплекса РТ на период до 2030 г. в Республике Татарстан производится около 250 тыс. тонн в год водорода. На всех этих предприятиях образуются водородсодержащие газообразные отходы. Объемное содержание водорода в газообразных отходах достигает 63 %.

На данный момент водородсодержащие газовые отходы дожигаются в факелах, либо подмешиваются к природному газу в малом количестве (2-10%) и сжигаются в газовых турбинах. Задача экологичной и высокоэффективной утилизации газовых отходов предприятий нефтепереработки и химкомбинатов с получением электрической и тепловой энергии в цикле гибридной энергосистемы с топливным элементом представляется весьма актуальной. Важным преимуществом такого способа утилизации газовых отходов нефтепереработки в качестве топлива кроме высокого общего КПД является декарбонизация процесса энергопроизводства.

### **Связь диссертационной работы с приоритетными научно-исследовательскими работами**

Диссертационная работа соответствует:

- Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации до 2050 года (Распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 N 2162-р);
- Седьмой цели в области устойчивого развития улучшения благосостояния и защиты нашей планеты на период до 2030 года Организации Объединённых Наций. Пункт 7.а подразумевает разработку и использование технологий экологически чистой энергетики, включая возобновляемые и ископаемые виды топлива;
- Направлению из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года: «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии»;
- Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (7 июля 2011 г. №899): «Рациональное природопользование»;
- Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в республике Татарстан (14 ноября 2017 г. №2957-р): 1. Рациональное природопользование, экология и охрана окружающей среды. 2. Энергетика, энергоэффективность и энергоресурсосберегающие технологии;
- Дорожной карте развития водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года (12 октября 2020 г. №2634-р).

### **Научная новизна исследований**

1. Разработана математическая модель и система расчета гибридной энергосистемы, включающая систему подготовки к использованию в качестве топлива газовых отходов нефтепереработки, расчет состав синтез-газа после риформинга, цифровую инженерную модель твердооксидного топливного элемента, учитывающую гидродинамические, электрохимические и тепломассообменные процессы, тепловые и газодинамические характеристики газовой микротурбины расчет энергетических потоков между блоками гибридной системы, утилизацию тепловых и углеродных выбросов гибридной энергосистемы.

2. На основе экспериментальных исследований и физико-химических методов анализа качественного и количественного состава и свойств водородсодержащих



углеводородных газовых отходов глубокой переработки нефти предложен метод десульфуризации топливного газа с остаточным содержанием соединений серы менее 1,5 ppm.

3. Представлены различные архитектуры гибридной энергосистемы с вариантами устройства и функционирования блоков, движением материальных потоков между ними, обеспечивающие декарбонизованный высокоэффективный процесс производства энергии с электрическим КПД более 60% и общим КПД более 97% в зависимости от мощности установок.

4. Разработана технологическая схема и проведен математический расчет основных параметров эффективности опытно-промышленной гибридной энергосистемы суммарной мощностью 30 кВт с использованием газообразных водородсодержащих отходов нефтеперерабатывающих химических предприятий в качестве топлива для выработки электроэнергии в водородно-электрохимическом процессе.

### **Практическая значимость полученных результатов**

1. Обеспечение возможности прогнозирования на основе разработанной цифровой модели ТОГЭ рабочих параметров гибридной электрохимической-механической системы (температуры, давления, состава топлива) на выходную мощность в зависимости от архитектуры гибридной системы, ее состава, параметров движения газовых потоков, процессов теплообмена для более эффективной генерации электроэнергии.

2. Прошедшие десульфуризацию и подготовку углеводородные газовые отходы нефтеперерабатывающих предприятий по предлагаемому методу могут использоваться в качестве топлива для высокотемпературного топливного элемента в составе гибридной энергосистемы.

3. Разработанные технологии и модели приняты к внедрению на предприятиях ПАО «Татнефть».

### **Реализация результатов работы**

Разработаны предложения для энергоэффективного использования водородсодержащих газовых отходов нефтепереработки АО «Танеко» для выработки электроэнергии на ООО «Нижекамская ТЭЦ».

### **Соответствие диссертации паспорту специальности**

Диссертация является научно-квалификационной работой, соответствует паспорту специальности научных работников 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы»

По направлениям исследований диссертационная работа соответствует пп. 1,2,3,5,6 паспорта специальности.

### **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Подтверждается сопоставлением полученных экспериментальных данных по апробированным методикам ГОСТ с литературными данными; согласованием результатов расчета по разработанной цифровой модели с результатами экспериментальных данных работы твердооксидного топливного элемента; обоснованием полученных результатов основными положениями науки в областях гидродинамики, термодинамики, физики, химии и информатики, а также исследованиями авторов по данной тематике; применением в работе современного оборудования вычислительных систем для математического анализа, а также контрольно-измерительных устройств, прошедших сертификацию.

## **Личный вклад автора**

Автор самостоятельно провел анализ литературных данных и, совместно с научным руководителем, были поставлены цели и задачи диссертационного исследования, определена научная новизна и практическая значимость работы. Автор занимался разработкой технологической схемы и конструкций гибридных систем с топливными элементами; проводил численные расчеты основных параметров работы высокотемпературного топливного элемента на разработанной лично цифровой модели, характеризующие теплообмен, массообмен, электрохимические превращения в топливной ячейке с использованием программного обеспечения для инженерного анализа и сопоставлял полученные результаты с экспериментальными данными; проводил лабораторные исследования с использованием физико-химических методов анализа газовых отходов нефтепроизводства, а также экспериментальные исследования разработанных материалов для адсорбции по десульфуризации топливного газа и декарбонизации процесса энергопроизводства в гибридной системе с топливным элементом. Автор лично проводил промышленные испытания на объектах энергетики. Автору принадлежат выводы и заключительные положения диссертации, основанные на анализе и обобщении результатов исследования.

### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени**

Основные результаты диссертационной работы представлены в 4 публикациях в журналах из перечня ВАК РФ, 5 публикациях международной системы цитирования Scopus и Web of Science. Всего 13 публикаций. Принято очное участие с тезисами докладов по теме диссертационной работы на 4 международных и всероссийских конференциях. Автор является исполнителем в 1 гранте (молодежная лаборатория «Изучение процессов в гибридной энергетической установке топливный элемент-газовая турбина» (шифр проекта - FZSW-2022-0001) в рамках федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок» национального проекта «Наука и университеты»).

### **Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и приравненных к ним по специальности 2.5.4**

1. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 6. С. 79-91 (вклад соискателя – 40%).
2. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Печенкин А.В. Устройства, принцип действия и эффективность риформинга углеводородного топлива в электрохимических энергетических системах // Теплоэнергетика. 2023. №8. С. 615-623 (вклад соискателя – 40%).

### **Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и приравненных к ним по другим научным специальностям**

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Печенкин А.В. Обзор проектных схем гибридных систем с твердооксидным топливным элементом и газовой турбиной для комбинированного производства тепла и электроэнергии //



Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 15. № 7. С. 812-834 (вклад соискателя – 40%).

4. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Печенкин А.В., Виноградов А.С. Исследование влияния состава топлива на показатели работы гибридных энергетических установок с топливными элементами // Экология и промышленность. 2023. Т. 27 (вклад соискателя – 40%).

### **Научные статьи, опубликованные в международных базах цитирования Scopus и (или) Web of Science**

5. Filimonova A.A., Chichirov A.A., Chichirova N.D., Filimonov A.G., Pechenkin A.V. Directions Of Hydrogen Power Development In Tatarstan Republic // E3S Web of Conferences. 2021. 288. 01074. P. 1-4 (вклад соискателя – 40%).

6. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Печенкин А.В., Чичирова Н.Д. Оптимизация гидродинамического режима в камерах проточного электромебранного аппарата // Мембраны и мембранные технологии. 2023. Т.5. №1. С. 11-17 (вклад соискателя – 40%).

7. Iliev I.K., Filimonova A.A., Chichirov A.A., Chichirova N.D., Pechenkin A.V., Vinogradov A.S. Theoretical and Experimental Studies of Combined Heat and Power Systems with SOFCs // Energies. 2023. 16 (4). P. 1898 (вклад соискателя – 40%).

8. Filimonova A.A., Chichirov A.A., Pechenkin A.V., Vinogradov A.S. Technological Scheme of a Solid Oxide Fuel Cell – Microturbine Hybrid Power Plant for Electricity Production // International Journal of Intelligent systems and applications in engineering. 2023. 11(3). P. 301-306 (вклад соискателя – 40%).

9. Beloev I., Filimonova A.A., Pechenkin A.V., Gizzatullin A., Vinogradov A.S., Iliev I.K. Numerical Simulation of Solid Oxide Fuel Cell Energy Production Processes. // Engineering Proceedings. 2023. 41(1):11. (вклад соискателя – 40%).

### **Публикации в других изданиях**

10. Филимонова А.А., Печенкин А.В., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. Вычислительная гидродинамика для моделирования движения потоков жидкости в ячейке электролизатора // В сборнике: Международный форум Kazan Digital Week-2022. Сборник материалов Международного форума. Под общей редакцией Р.Н. Минниханова. Казань, 2022. С. 232-237.

11. Печенкин А.В., Абдуллина Л.В. Использование газообразных отходов заводов нефтепереработки и органической химии Республики Татарстан для получения тепловой и электрической энергии // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15–21 мая 2022 года. Том 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – С. 283-286.

12. Печенкин А.В. Возможность использования водорода в топливных элементах // Энергия-2022. Теплоэнергетика: Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6 т., Иваново, 11–13 мая 2022 года. Том 1. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2022. – С. 89.

13. Печенкин А.В., Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. Возможность использования газообразных отходов в гибридных установках // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2022 (МНТК "ИМТОМ - 2022"): Материалы XI-й Международной научно-технической конференции, Казань, 08 декабря 2022 года. Том Часть 2. – Казань: Акционерное общество "Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий", 2022. – С. 96-99



## Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ состоит в разработке концептуально новых решений по использованию отходов промышленных нефтехимических предприятий с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду;

- предложены методы подготовки газообразных отходов нефтепереработки для использования в качестве топлива энергетических установок;
- разработаны математические модели процессов в топливном элементе, в гибридной системе для прогнозирования влияния состава подаваемой топливной смеси на выходные показатели эффективности работы;
- представлены технологические схемы гибридной системы с топливным элементом и газовой турбиной на отходах нефтепроизводства в качестве топлива, обеспечивающие декарбонизованный процесс энергопроизводства.

## Рекомендации и выводы

Диссертационная работа Печенкина Александра Вадимовича «Утилизация водородсодержащих отходов нефтепереработки в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом» актуальна, характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Диссертационная работа соответствует основным приоритетными научно-исследовательскими направлениям Российской Федерации и Республики Татарстан в области экологически чистой и ресурсосберегающей энергетики, водородной энергетики, энергоресурсоэффективности и декарбонизации промышленных выбросов.

Научные и практические результаты диссертационного исследования представлены в публикациях в журналах перечня ВАК при Минобрнауки России и индексируемых в международных базах Scopus, Web of Science, доложены на российских и международных научно-технических конференциях и форумах.

Диссертационная работа Печенкина А.В. является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» по пп. 1,2,3,5,6 областей исследования.

Соискатель Печенкин А.В. обладает глубокими профессиональными знаниями и имеет научные достижения в представленной области. Результаты диссертационной работы получены на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных физико-химических методов анализа. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

Диссертационная работа «Утилизация водородсодержащих отходов нефтепереработки в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом» выполнена в рамках лаборатории Минобрнауки РФ «Изучение процессов в гибридной энергетической установке топливный элемент – газовая турбина» шифр проекта FZSW-2022-0001. Индустриальным партнером является ООО «Нижнекамская ТЭЦ», где внедрены результаты научной работы с подтверждающими актами об использовании результатов диссертационной работы.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. в редакции от 18.03.2023 г.) к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, диссертация на тему:



«Утилизация водородсодержащих отходов нефтепереработки в гибридной энергосистеме с высокотемпературным топливным элементом» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы».

Заключение принято на расширенном заседании кафедр «Атомные и тепловые электрические станции» и «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», которое состоялось 26 мая 2023 г., протокол №5. На заседании присутствовали 27 человек, из них 10 докторов наук. Результаты голосования: «за» - 27 человек, «против» - нет, «воздержались» - нет.

Председатель заседания:  
Наталья Дмитриевна Чичирова  
д.х.н., профессор, зав. кафедрой  
«Атомные и тепловые  
электрические станции»  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»



Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»  
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51  
Тел. (843)519-42-52, e-mail: kgeu.tes@mail.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение

Ившин Игорь Владимирович: доктор технических наук, профессор,  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Казанский государственный энергетический университет», проректор по  
науке и коммерциализации,  
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.  
Тел. (843)519-43-72, e-mail: ivshin.iv@kgeu.ru



Специалист ОК *М.А.* Каибрахманова В.А.