

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе ФГБОУ
ВО «УГНТУ» кандидат технических
наук, доцент



А.И. Могучев

«03» 09 2025 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Уфимский
государственный нефтяной технический университет»
на диссертацию Тимошенко Артема Леонидовича
на тему «Снижение взрывопожарной опасности в электролизных цехах ТЭЦ
на основе прогнозирования образования водородно-воздушных смесей»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)**

Диссертационная работа Тимошенко Артема Леонидовича посвящена снижению взрывопожарной опасности в электролизных цехах теплоэлектроцентралей на основе прогнозирования образования водородно-воздушных смесей.

Актуальность темы исследования

Тематика диссертационного исследования соответствует «Основам государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года», утвержденных указом Президента РФ от 11 января 2018 года № 12, в части, касающейся повышения уровня защищенности критически важных и потенциально опасных объектов в чрезвычайных ситуациях, а также одной из ключевых задач Плана мероприятий по развитию водородной энергетики в России до 2024 года и Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации в области

развития отечественных технологий водородной энергетики для Российской Федерации, а именно обеспечении безопасности энергетической отрасли.

Использование водорода в топливно-энергетическом комплексе требует повышенного внимания к его значительной пожаровзрывоопасности. Низкая вязкость и высокая диффузия водородно-воздушной смеси приводят к проявлению пространственной неоднородности концентраций, что затрудняет численное моделирование процессов распространения водорода и его горения при авариях.

Таким образом, возникает необходимость в развитии методических подходов в части обеспечения превентивных мероприятий, особенно в начальный период возникновения аварийных утечек водорода – для своевременного предотвращения образования взрыво- и пожароопасных концентраций в смеси с воздухом.

Цель и задачи диссертационного исследования

Целью диссертационного исследования соискателя является разработка методики оценки взрывопожарной опасности при получении водорода методом электролиза в электролизных цехах ТЭЦ посредством прогнозирования образования опасных концентраций газо-воздушных смесей.

Для достижения поставленной цели соискателем были поставлены следующие задачи:

1. Проведен обзор статистических данных по авариям и пожарам на объектах получения и применения водорода с определением частоты их возникновения, проанализировать отечественные и зарубежные нормативные источники в области обеспечения пожарной и промышленной безопасности на объектах водородной энергетики.

2. Разработана математическая модель образования водородно-воздушных смесей в ограниченном объеме при аварийных утечках водорода в помещениях электролизных цехов ТЭЦ.

3. Проведены экспериментальные исследования процессов диффузии водорода с образованием водородно-воздушных смесей в диапазонах до взрывных концентраций с учетом параметров приточно-вытяжной вентиляции.

4. Предложены практические рекомендации по снижению уровня пожарной опасности в электролизных цехах ТЭЦ при возникновении аварийных утечек водорода.

На защиту вынесены следующие положения:

математическая модель процессов образования и накопления водородно-воздушной смеси при аварийной утечке водорода в вентилируемых помещениях;

расчетно-экспериментальные зависимости динамики концентрации водорода и коэффициентов диффузии от режимов движения воздушной среды;

методика оценки взрывопожарной опасности электролизных цехов производства водорода и его применения на объектах тепловых электростанций.

Научная новизна данного диссертационного исследования заключается в: установлении новых частот возникновения аварийных ситуаций на объектах водородной энергетики для различных категорий промышленного оборудования и технологических процессов. Их ключевое отличие от существующих подходов заключается в возможности дифференцированного применения расчетно-аналитических методов при оценке пожарного риска на объектах, использующих горючие газы;

создании математической модели формирования газовой смеси в помещениях при аварийных утечках водорода. Модель отличается от аналогов способностью прогнозировать момент достижения локальных взрывоопасных концентраций с учетом воздействия приточно-вытяжной вентиляции;

экспериментальном определении закономерности динамики образования водородно-воздушных смесей в диапазоне до взрывных концентраций водорода;

получении аналитических зависимостей коэффициентов диффузии водорода от числа Рейнольдса для нестационарных режимов воздушного потока;

предложенной методики, базирующаяся на критериальной модели. Ее отличие от известных аналогов заключается в использовании оригинального

алгоритма оценки взрывопожарной опасности технологического оборудования по интегральному показателю, актуальному для производств, связанных с водородом.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что автором обновлена информационно-справочная база данными о частотах возникновения аварийных ситуаций при производстве, обращении и утилизации водорода для различных типов промышленного оборудования, и технологических процессов. Это расширяет возможности построения деревьев отказов и событий, применяемых при анализе и оценке пожарных рисков. Определены коэффициенты диффузии водорода и его участия во взрыве, что позволяет прогнозировать формирование локальных взрывоопасных концентраций водородно-воздушных смесей при утечках в различных зонах вентилируемого помещения.

Практическая значимость работы состоит в применении критериальной модели, позволяющей выполнять дифференциацию взрывопожарной опасности технологических зон производства и обращения водорода. В основе модели лежит сравнение расчетных показателей с допустимыми (безопасными) значениями параметров, характеризующих пожарную опасность газообразного водорода в производственной среде.

Результаты математического моделирования аварийных утечек в вентилируемых помещениях водородных производств могут служить техническим обоснованием для оптимального размещения газоаналитического оборудования и систем аварийной вентиляции на объектах, где производится и обращается водород.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций исследования подтверждается комплексом методов: статистическим анализом, экспериментальными исследованиями с поверенными приборами, численным моделированием в FDS и PyroSim, математическим аппаратом регрессионного и корреляционного анализа, апробацией на всероссийских и международных научно-практических конференциях

Автор корректно использует отечественные и зарубежные литературные источники (185 наименований), демонстрируя глубокое знание предметной области. Ссылки и цитирование обоснованы, выводы подтверждаются расчетами, результатами экспериментов и сопоставлением с данными других исследователей.

Соответствие содержания диссертации паспорту научной специальности

Диссертационное исследование соответствует области исследований, определяемой паспортом специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки), а именно пункту 6 «Исследование и разработка средств, методов и алгоритмов обеспечения пожаровзрывобезопасности технологических процессов и регламентных работ на стадии эксплуатации объектов защиты» и пункту 12 «Разработка научных основ создания систем, методов и технических средств обнаружения, предупреждения и ликвидации аварий, пожаров и взрывов».

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы используются Башкирской ассоциацией экспертов в части экспертизы промышленной и пожарной безопасности на опасных производственных объектах топливно-энергетического комплекса Республики Башкортостан; обществом с ограниченной ответственностью «Груммант» (г. Санкт-Петербург) в части проведения оценки взрывопожарной опасности технологического оборудования в помещениях при выполнении проектных, строительных и монтажных работ участков генерации и хранения водорода; Балаковской ТЭЦ-4 ПАО «Т Плюс» при разработке и обосновании организационно-технических решений по обеспечению взрывопожарной опасности, а также при размещении газоанализаторов и аварийной вентиляции в электролизном цеху.

Публикации

Основные результаты работы опубликованы в 15 научных работах, 5 из которых в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, в том числе 1 статья

единолично. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Содержание и количество публикаций свидетельствует о достаточной полноте освещения результатов диссертационной работы.

Структура, содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (185 наименований) и семи приложений; содержит 160 страниц текста, 38 рисунков, 33 таблицы.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, проанализирована степень его научной разработанности, определены объект и предмет исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимости, методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, степень достоверности и обоснованность научных результатов, апробация и реализация работы, публикации и личный вклад автора.

В главе 1 «Анализ статистических данных по авариям и пожарам, обзор состояния научно-методической и нормативной базы в области пожарной безопасности на объектах водородной энергетики» автор проводит анализ статистических данных по авариям и пожарам, обзор состояния научно-методической и нормативной базы в области пожарной безопасности на объектах водородной энергетики. Подтверждает актуальность обеспечения взрывопожарной безопасности объектов производства и обращения водорода. На основе анализа статистических данных им были определены частоты реализации аварийных событий на объектах водородной энергетики.

В главе 2 «Компьютерное моделирование процессов образования водородно-воздушной смеси при утечках водорода на производственных объектах ТЭЦ» выполнено компьютерное моделирование процессов образования водородно-воздушной смеси при утечках водорода на производственных объектах ТЭЦ. В своей работе автор приводит основные сведения по генерации водорода в электролизных цехах и исходные условия для моделирования аварийной утечки водорода в электролизном цехе ТЭЦ, необходимые для дальнейшего

компьютерного моделирования поля концентраций при аварийной диффузионном распространении водорода.

В главе 3 *«Экспериментальное исследование процессов образования водородно-воздушной смеси при аварийных утечках водорода»* соискатель привел результаты экспериментальных исследований процессов образования водородно-воздушной смеси при аварийных утечках водорода. Приведены основные сведения по организации моделирования утечки водорода в закрытом помещении, порядок проведения экспериментальных измерений концентрации, последующей обработки полученных экспериментальных данных и проведения их анализа. Соискателем были определены коэффициенты диффузии водорода в воздухе в ограниченном объеме с принудительной вентиляцией, а также исследованы особенности образования взрывоопасных зон при аварийной утечке водорода в вентилируемом помещении.

В главе 4 *«Методика оценки взрывопожарной опасности производства и обращения водорода на производственных объектах ТЭЦ»* на основе разработанных моделей и нормативных методик оценки рисков аварий автором предложена методика оценки взрывопожарной опасности объектов производства и обращения водорода.

Приведены основные положения методики оценки взрывопожарной опасности и описаны параметры построения критериальной модели, позволяющей определять расчетные показатели взрывопожарной опасности (критерии) технологического участка производства и обращения водорода, сравнивать их с допустимыми (предельными) значениями и относить их к определенной категории уровня взрывопожарной опасности. Ранжирование различных показателей пожарной опасности, влияющих на безопасность технологического процесса производства водорода проводилось методом экспертных оценок.

Предложены рекомендации по предупреждению взрывов водородно-воздушных смесей при утечках водорода, включающие в себя применение

разработанной автором системы введения газовых огнетушащих средств в трубопровод транспортировки водорода.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования.

В приложениях обобщил показатели пожарной опасности водорода и представил сравнительный анализ пожаровзрывоопасных характеристик водорода, метана, ацетилена, этана и пропана; привел логические деревья событий развития аварий при разгерметизации участка надземного технологического трубопровода с водородом и другими горючими газами, рассчитанные по разным методикам оценки риска; описал методику расчета основных показателей пожарной опасности водорода, используемых в критериальной модели; проиллюстрировал градиенты концентраций и диаграммы коэффициентов диффузии, полученные в ходе экспериментального моделирования аварийной утечки в модельном вентилируемом помещении; обобщил в таблицу показатели пожарной опасности водорода, их справочные значения и расчетные формулы; представил акты внедрения научных результатов.

Автореферат и текст диссертации

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы, а опубликованные научные статьи охватывают её ключевые положения. Это дает основание утверждать, что автором обоснована актуальность исследования, успешно достигнута его цель и решены поставленные задачи. Полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, а сформулированные выводы являются обоснованными.

Текст диссертации в целом логичен, структурирован, соответствует академическим требованиям. Некорректных заимствований и других нарушений научной этики в нем не обнаружено. Текст автореферата в полной мере отражает содержание диссертационного исследования.

При изучении текста диссертационной работы возникло несколько замечаний:

1. Применение Fire Dynamics Simulator (FDS) для численного моделирования, хотя и обосновано автором, требует дополнения сравнительным

анализом с альтернативными CFD-пакетами (ANSYS Fluent, OpenFOAM, COMSOL Multiphysics и другие). Это особенно важно для моделирования турбулентных режимов, где различные подходы к дискретизации уравнений Навье-Стокса могут давать расхождения в результатах. Проведение такого сравнения стало бы ценным дополнением к исследованию.

2. В ходе рассмотрения предложенных мер (в частности, рекомендуемой кратности воздухообмена $38,8\text{--}77,5 \text{ ч}^{-1}$) возникают вопросы, связанные с их практической реализуемостью. Предложенные меры требуют дополнительного обоснования технико-экономического анализа реализуемости, сравнения с альтернативными вариантами вентиляции, имеющих меньшую кратность, но сопоставимую эффективность.

3. Формула (1), применённая для расчета частоты реализации аварийных событий ($\lambda_{\text{ОПО}}$), представляется корректной, однако требует уточнения значения количества зарегистрированных ОПО, связанных с обращением водорода ($N_{\text{ОПО}}$).

Указанные замечания незначительны и не снижают научную и практическую ценность и общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Тимошенко А.Л. на тему «Снижение взрывопожарной опасности в электролизных цехах ТЭЦ на основе прогнозирования образования водородно-воздушных смесей» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, состоящая в научно-методическом обосновании обеспечения пожаро- и взрывобезопасности объектов топливно-энергетического комплекса путем прогнозирования и предотвращения образования водородно-воздушных смесей и имеющая существенное значение для развития страны в области обеспечения пожарной безопасности объектов энергетики, использующих водород.

Диссертация в полной мере соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения

ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Тимошенко Артем Леонидович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», протокол № 4 от «03» 09 2025 г.

Профессор кафедры «Пожарная и
промышленная безопасность»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»
доктор технических наук, профессор

«03» 09 2025 года



Хафизов Ильдар Фанилевич

Подпись Хафизова Ильдара Фанилевича заверяю

Начальник отдела
по работе с персоналом
ФГБОУ ВО «УГНТУ»



Дадаян О.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Адрес: 450064, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Телефон: +7 (347)243-19-77.

Адрес электронной почты: info@rusoil.net.

Сайт организации в сети «Интернет»: rusoil.net.