

На правах рукописи



Буй Куанг Тиен

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КАСКАДНОГО РАЗВИТИЯ ПОЖАРА
НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ВЬЕТНАМА НА ОСНОВЕ
ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ С ЗАЩИТНОЙ СТЕНКОЙ
И ВОЛНООТРАЖАЮЩИМ КОЗЫРЬКОМ**

Специальность: 2.10.1. Пожарная безопасность
(технические науки)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» на кафедре пожарной безопасности технологических процессов в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Швырков Сергей Александрович

Официальные оппоненты: **Самигуллин Гафур Халафович**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»,
кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств, профессор

Фомина Екатерина Евгеньевна
кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,
кафедра промышленной безопасности и охраны окружающей среды, доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

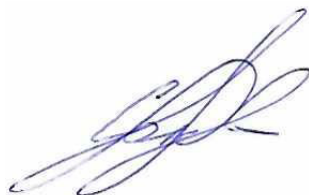
Защита состоится «23» января 2024 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 04.2.002.02 в Академии государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<https://academygps.ru/upload/iblock/8b6/kxlyq5706lx9ys5t8pkupzk899y253if/Диссертация%20Буй%20Куанг%20Тиен.pdf>

Автореферат разослан «24» ноября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук



Соковнин Артем Игоревич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. К одной из приоритетных отраслей экономики в Социалистической Республике Вьетнам (далее – СРВ или Вьетнам) относится электроэнергетика. Основными производителями электрической энергии являются гидроэлектростанции (далее – ГЭС) и тепловые электростанции (далее – ТЭС) с паротурбинными блоками, работающими на угле, мазуте, дизельном топливе и с комбинированными газопаротурбинными установками. При этом в ближайшие десятилетия на ТЭС будет приходиться до 50 % всей вырабатываемой в стране электрической энергии.

К особенностям размещения ТЭС следует отнести их нахождение в черте населенных пунктов (в 94 % случаев), а также вблизи водных объектов (в 87 % случаев), что обосновано необходимостью обустройства водоемов-охладителей, приспособленных для отвода значительного количества тепла, образующегося в ходе технологических процессов, а также доставки топлива водным транспортом.

Прием, хранение, подогрев, выдача и обезвоживание топлива на ТЭС осуществляется в вертикальных стальных резервуарах (далее – РВС) номинальным объемом от 700 до 30000 м³, которые располагаются в группах, имеющих по периметру замкнутое грунтовое обвалование или железобетонное ограждение, рассчитанных на гидростатическое давление пролитой жидкости. При этом примерно на 10 % территорий ТЭС группы РВС не имеют сплошного ограждения, а по периметру отбортованы лишь бордюрным камнем.

Результаты анализа данных о разрушениях РВС на объектах топливно-энергетических комплексов (далее – ТЭК) различных стран убедительно доказывают, что указанные ограждения не способны удержать образующийся в этом случае мощный гидродинамический поток (волну прорыва) часто горячей жидкости. В результате такие инциденты неоднократно приводили к каскадному развитию аварий, пожаров, возникновению чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС), в том числе экологическим катастрофам, нередко – к гибели людей.

К наиболее перспективному способу предотвращения каскадного развития аварии или пожара в резервуарных парках ТЭС Вьетнама следует отнести применение РВС с защитной стенкой (далее – резервуар типа «стакан в стакане» или РВСЗС), что обусловлено, в соответствии с требованиями нормативных документов в области обеспечения промышленной безопасности, возможностью их эксплуатации вблизи жилых зон или по берегам водоемов, а также при недостаточности места для устройства обвалования или каре вокруг резервуаров. Конструктивно РВСЗС состоит из основного (внутреннего) РВС для хранения жидкости и обустроенной на расстоянии от 1,5 до 3 м от его стенки непосредственно на том же основании или самостоятельно кольцевой стальной защитной стенки.

Однако, требования нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности как в СРВ, так и в России, на проектирование и строительство таких типов резервуаров не распространяются.

При этом анализ ранее выполненных исследований по оценке доли жидкости, которая может перелиться через защитную стенку в зависимости от ее высоты и межстенного расстояния показал, что для полного удержания волны прорыва в границах защитной стенки ее высота должна не менее чем на 10 % превышать максимальный уровень жидкости в основном резервуаре до аварии. Очевидно, что строительство таких высоких защитных стенок экономически нецелесообразно, при этом возможно образование зон взрывоопасных концентраций как в межстенном пространстве РВСЗС, так и снаружи защитной стенки.

В связи с вышесказанным актуальным представляется нахождение эффективного способа снижения высоты защитной стенки при максимальном уровне заполнения основного РВС горючей жидкостью. В частности, предлагается рассмотреть возможность обустройства на защитной стенке горизонтального (далее – ГВК) или наклонного (далее – НВК) волноотражающего козырька, обращенного в сторону РВС. Эффективность такой конструкции ограждения будет зависеть от геометрических параметров РВС, межстенного расстояния и длины вылета ГВК или НВК. На установление зависимостей между указанными параметрами и были направлены исследования настоящей работы.

Степень разработанности темы исследования.

Проблеме разрушений РВС и способам их предупреждения посвящены исследования Б.И. Беляева, И.М. Розенштейна, Г.П. Кандакова, В.А. Прохорова, В.Б. Галеева, В. Маршалла, О. Нобукадзу, К. Кавано, Я. Аугустина и др. Однако аварии РВС продолжают иметь место, в связи с чем вопросы локализации пожара пролива защитными ограждениями не менее актуальны, чем вопросы надежности резервуаров.

Разработке нормативных требований в области промышленной безопасности, а также проектной документации на строительство РВСЗС, посвящены работы Э.Я. Еленицкого, О.В. Дидковского, Е.В. Худякова, В.Ф. Мущанова, А.Н. Яшника, Л.М. Спириденка, А.И. Бондарчука и др., но в них недостаточно уделено внимания обоснованию высоты защитной стенки РВСЗС.

Работы Ф.В. Демехина, А.А. Таранцева, С.С. Воеводы, А.Ф. Шароварникова, Д.Н. Рубцова и др. посвящены проблемным вопросам тушения пожаров в РВСЗС и обоснованию необходимости орошения его защитной стенки.

Непосредственно исследованиям параметров волны прорыва и нормированию требований пожарной безопасности к ограждениям резервуаров посвящены работы М.В. Лурье, С.А. Швыркова, В.В. Воробьева, С.В. Пузача, А.С. Швыркова и др. Однако в них не рассматривался вопрос возможности снижения высоты защитной стенки РВСЗС, в частности, за счет обустройства на ней волноотражающего козырька.

Целью диссертационной работы являлась разработка рекомендаций по определению геометрических параметров защитной стенки с волноотражающим козырьком резервуара типа «стакан в стакане» для предупреждения каскадного развития пожара в резервуарных парках ТЭС Вьетнама.

Для достижения цели в работе ставились и решались следующие **задачи**:

– рассмотрение современного состояния ТЭС в СРВ и выявление особенностей их размещения на местности;

– проведение анализа пожарной опасности разрушений РВС с жидкостью, включая прогнозирование каскадного развития аварии на территории ТЭС в СРВ, и обоснование способа минимизации негативных последствий аварий РВС;

– модернизация лабораторного стенда, разработка методики и проведение экспериментов по определению требуемой высоты защитной стенки с обустроенным на ней волноотражающим козырьком горизонтального или наклонного вида;

– получение эмпирических формул для определения высоты защитной стенки в зависимости от геометрических параметров основного РВС, межстенного расстояния и длины вылета волноотражающего козырька соответствующего вида;

– разработка рекомендаций по определению геометрических параметров защитной стенки с волноотражающим козырьком для полной локализации потока жидкости в случае разрушения основного РВС.

Объектом исследования являлся процесс разрушения основного РВС с образованием волны прорыва и ее воздействием на защитную стенку, оборудованную волноотражающим козырьком.

Предметом исследования являлись геометрические параметры волноотражающего козырька (угол наклона и длина вылета), необходимые для снижения высоты защитной стенки при условии полной локализации волны прорыва в границах рассматриваемого ограждения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана методика проведения лабораторных экспериментов по определению необходимой высоты защитной стенки РВСЗС с обустроенным на ней волноотражающим козырьком горизонтального (под углом 90° к защитной стенке) или наклонного (под углом 135° к защитной стенке) вида.

2. Установлено, что обустройство на защитной стенке горизонтального или наклонного волноотражающего козырька является эффективным способом, направленным на снижение высоты защитной стенки до или ниже максимального уровня горючей жидкости в основном резервуаре в зависимости от межстенного расстояния и длины вылета волноотражающего козырька.

3. Показано, что наиболее эффективно на снижение высоты защитной стенки оказывает влияние обустройство на ней наклонного волноотражающего козырька – до 5 % по сравнению с горизонтальным волноотражающим козырьком в исследуемом диапазоне межстенного расстояния (от 1,5 до 3 м).

4. Получены эмпирические формулы для определения необходимой высоты защитной стенки РВСЗС в зависимости от геометрических параметров основного РВС номинальным объемом от 700 до 30000 м³, межстенного расстояния и длины вылета волноотражающего козырька соответствующего вида (от 0,5 до 1,5 м).

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

– в развитии методов определения геометрических параметров ограждений резервуаров на примере защитных стен с волноотражающим козырьком, используемых при разработке систем ограничения распространения пожара пролива топлива при возможных разрушениях резервуаров, в данном случае, РВСЗС на территориях ТЭС Вьетнама;

– в использовании полученных эмпирических формул для определения требуемой высоты защитной стенки с волноотражающим козырьком соответствующего вида, необходимой для полной локализации волны прорыва при возможном разрушении основного резервуара;

– в разработке рекомендаций по определению геометрических параметров защитной стенки с волноотражающим козырьком, направленных на обеспечение требуемого уровня пожарной, промышленной и экологической безопасности при эксплуатации РВСЗС;

– в использовании полученных данных организациями для оптимизации конструкций РВСЗС, при разработке планов по предупреждению и ликвидации разливов нефтепродуктов, планов тушения пожаров.

Разработанные рекомендации могут являться основой для создания нормативного документа или внесения дополнений в существующие нормы по пожарной безопасности объектов с использованием РВСЗС в части предотвращения каскадного развития аварии, пожара или ЧС вследствие возможного разрушения основного РВС с нефтепродуктом.

Методология и методы исследования.

В процессе выполнения работы использованы методы теории подобия и гидравлического лабораторного моделирования, наблюдения, сравнения, нахождения эмпирической зависимости на основе математической обработки экспериментальных данных, описания, обобщения.

Информационной основой исследования являлись российские и зарубежные литературные источники, нормативные документы, материалы расследований аварий и пожаров резервуаров на производственных объектах, а также научно-исследовательских работ в области разработки ограждений РВС.

Положения, выносимые на защиту:

– характеристика современного состояния электроэнергетики в СРВ и особенности размещения ТЭС на местности, включая их резервуарные парки;

– результаты анализа пожарной опасности разрушений РВС, прогнозирования каскадного развития аварии на территории ТЭС в СРВ и обоснование перспективного способа минимизации негативных последствий аварий РВС;

– описание модернизированного лабораторного стенда и основные положения методики проведения экспериментов по определению требуемой высоты защитной стенки РВСЗС с обустроенным на ней ГВК или НВК;

– эмпирические формулы для определения высоты защитной стенки в зависимости от геометрических параметров основного РВС, межстенного расстояния и длины вылета волноотражающего козырька соответствующего вида;

– основные положения рекомендаций по определению геометрических параметров защитной стенки с волноотражающим козырьком для полной локализации потока жидкости в случае разрушения основного РВС.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается: обоснованностью выбора критериев подобия и соблюдением условий моделирования гидравлических явлений при модернизации лабораторного стенда и проведении экспериментов; использованием апробированных методик измерения и обработки экспериментальных данных; внутренней непротиворечивостью и воспроизводимостью результатов исследования.

Материалы диссертации реализованы при разработке:

– проекта приложения А «Метод определения геометрических параметров защитной стенки с волноотражающим козырьком резервуара типа «стакан в стакане»» в национальный стандарт СРВ – TCVN 5684:2003 «Пожарная безопасность нефтяных сооружений. Общие требования»;

– проектной документации на реконструкцию резервуарного парка ТЭС «Зуен Хай 2» (СРВ), предполагаемой, в том числе, строительство и эксплуатацию резервуаров типа «стакан в стакане», а также при разработке планов предупреждения ЧС, обусловленных аварийными разливами нефтепродуктов;

– материалов по тематике обеспечения пожарной безопасности резервуарного хранения горючих жидкостей на объектах ТЭК Вьетнама для чтения лекций, проведения практических и семинарских занятий с обучающимися Института пожарной безопасности Министерства общественной безопасности СРВ;

– материалов по теме обеспечения пожарной безопасности резервуарного хранения горючих жидкостей на производственных объектах для чтения лекций, проведения практических и семинарских занятий с обучающимися бакалавриата, специалитета и магистратуры Академии ГПС МЧС России.

Основные результаты работы доложены на: 30-ой Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2021» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2021); I-ой Международной научно-практической конференции «Система безопасности» (Улан-Батор, Университет Внутренних Дел Монголии, 2021); VIII-ой Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2022); XI-ой Международной научно-практической конференции «Проблемы техносферной безопасности – 2022» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2022).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 160 страницах машинописного текста, включает в себя 28 таблиц, 69 рисунков, список литературы из 160 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, указана степень ее разработанности, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, представлены методология и методы исследования, а также степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе «Анализ пожарной опасности разрушений резервуаров и способов предотвращения каскадного развития пожара в резервуарных парках тепловых электростанций Вьетнама» представлены современное состояние ТЭС Вьетнама и особенности их размещения на местности, анализ статистики разрушений РВС на объектах ТЭК России, примеры разрушений РВС на объектах ТЭК зарубежных стран, результаты прогнозирования каскадного развития аварии на территории ТЭС во Вьетнаме при разрушении типового резервуара, классификация и анализ способов минимизации негативных последствий разрушений РВС с горючей жидкостью.

Электроэнергетика, включающая в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии, является одной из приоритетных отраслей экономики СРВ, обеспечивающей электрической энергией внутренние потребности народного хозяйства и населения. При этом, несмотря на взятый оптимистичный курс по сокращению вредных выбросов в атмосферу объектами электроэнергетики, на ТЭС, работающих на природных ресурсах, в ближайшие десятилетия будет приходиться до 50 % всей вырабатываемой в стране электрической энергии.

В работе приводится информация о действующих и проектируемых на территории СРВ ТЭС анализ которой показал, что в 94 % случаев ТЭС размещаются или проектируются непосредственно в черте плотной застройки населенных пунктов, при этом в 87 % границы их территорий имеют сближения с водоемами, в основном реками (рисунок 1).



а



б

Рисунок 1 – Общий вид ТЭС «О Мон 1» в провинции Кан Тхо (*а*), работающей на природном газе (резервное топливо – мазут) и ТЭС «Нги Шон 2» в провинции Тхань Хоа (*б*), работающей на каменном угле (резервное топливо – мазут)

Неотъемлемыми объектами ТЭС являются группы РВС, предназначенные для обеспечения бесперебойной подачи к котлам топлива в необходимом количестве и с соответствующими давлением и вязкостью. В основном на ТЭС как в виде основного, так и в виде растопочного, аварийного и резервного топлива используется мазут, реже – дизельное топливо. Хранение и другие операции с топливом осуществляются в РВС номинальным объемом от 700 до 30000 м³. Для ограничения возможного пожара пролива топлива резервуарные группы по периметру имеют земляные обвалования или ограждающие стены, рассчитанные на гидростатическое удержание пролитого продукта, при этом выявлено, что примерно на 10 % территорий ТЭС группы РВС отбортованы по периметру лишь бордюрным камнем.

Представленные в работе анализ статистических данных разрушений РВС на объектах ТЭК России (рисунок 2), а также характерные примеры разрушений РВС на объектах ТЭК зарубежных стран, в том числе СРВ, убедительно доказывают, что такие ограждения не способны удержать образующуюся в этом случае волну прорыва. В результате такие инциденты неоднократно приводили к каскадному развитию аварий, пожаров, возникновению ЧС, гибели людей.



Рисунок 2 – Последствия 156 случаев разрушений РВС на объектах ТЭК России (синий цвет) за период с 1951 по 2022 гг., в том числе 23 случаев – на объектах энергетики (зеленый цвет) за период с 1971 по 2022 гг.

При этом, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в области проектирования и эксплуатации РВС, включая разработку систем обеспечения пожарной и промышленной безопасности, возможность разрушений РВС сохраняется.

Свидетельством вышесказанному являются, в частности, произошедшие 29.05.2020 г. авария РВС-30000 м³ с дизельным топливом на территории теплоэлектроцентрали (далее – ТЭЦ) в г. Норильске, последствия которой привели к объявлению ЧС федерального уровня и огромному материальному ущербу (более 148 млрд руб.), и 09.03.2022 г. разрушение РВС-2000 м³ с битумом в группе мазутных резервуаров на территории котельной в г. Пензе, последствия которого привели к гибели двух и травмированию еще восьми человек.

В связи с тем, что большинство резервуарных групп на территориях ТЭС в СРВ находятся (будут находиться) в непосредственной близости к акваториям, то в работе выполнено прогнозирование возможного каскадного развития аварии на примере разрушения типового РВС-20000 м³ (диаметр 39,9 м, высота 18 м) с мазутом № 2, расположенного на территории ТЭС «О Мон 1» в провинции Кан Тхо, общий вид которой представлен на рисунке 1а, а расположение ТЭС в ситуационном плане показано на рисунке 3а. Отметим, что прогнозирование последствий аварии РВС выполнено по методике, разработанной на кафедре пожарной безопасности технологических процессов (далее – ПБТП) Академии ГПС МЧС России, в основу которой положены результаты анализа представительной выборки из массива статистических данных аварий РВС на объектах ТЭК России, а также натурного эксперимента по разрушению РВС-700 м³ с водой на территории реконструируемой нефтебазы в Липецкой области. На рисунке 3б показаны прогнозируемые границы площади пролива ($F_{пр}$) мазута (сплошная линия, красный фон) при разрушении РВС в сторону р. Хау и зоны возможного затопления (F_3) территории мазутом (желтая пунктирная линия), под которой понимается территория объекта и прилегающей к нему местности, участки которой могут быть затоплены жидкостью, находящейся в РВС, при различных направлениях его разрушения.



Рисунок 3 – Расположение ТЭС «О Мон 1» в ситуационном плане (а) и прогнозируемые на ее территории площадь пролива и зона затопления при аварии РВС-20000 м³ с мазутом (б)

В результате расчетов установлено, что при полном разрушении РВС по твердой поверхности следует ожидать разлива около 6084,41 м³ топлива, соответственно в реку может попасть до 16410,69 м³ мазута. С учетом принятой толщины слоя, разливающегося по водной поверхности мазута ~0,01 м, в первые часы после аварии площадь пролива по речной поверхности составит до 1,64 км². При этом, в случае непринятия своевременных мер по локализации пролива площадь мазута может быть увеличена в два и более раз с учетом скорости течения р. Хау, которая в этой местности составляет до 3 м/с.

Очевидно, что реализация такого сценария на территории ТЭС помимо большого экономического ущерба, вызванного потерей резервуарной емкости и топлива, неминуемо приведет к серьезным негативным экологическим последствиям. Кроме этого, разлившейся по течению мазут будет достигать прибрежной зоны соседних с ТЭС производственных объектов, что приведет к их простоям на длительное время. Следует также отметить, что при разрушении любого РВС в группе в сторону противоположную водоему возможно каскадное развитие аварии вследствие вовлечения в инцидент значительного количества различных сооружений и технологического оборудования ТЭС.

В диссертации представлена классификация наиболее широко применяемых способов, направленных на предотвращение возникновения волны прорыва, образующейся при полном разрушении РВС, а также на ее локализацию в пределах ограждения, в том числе рекомендуемых нормативными документами по пожарной и промышленной безопасности резервуарных парков, действующими как в СРВ, так и в России (рисунок 4).



Рисунок 4 – Классификация способов минимизации негативных последствий разрушений РВС с горючей жидкостью

Подробный анализ представленных на рисунке 4 способов, сделанный в работе, показал, что каждый из них обладает как достоинствами, так и недостатками, при этом наиболее перспективным для резервуарных групп ТЭС может являться способ локализации потока жидкости, основанный на применении резервуаров с защитной стенкой типа «стакан в стакане» (рисунок 5).

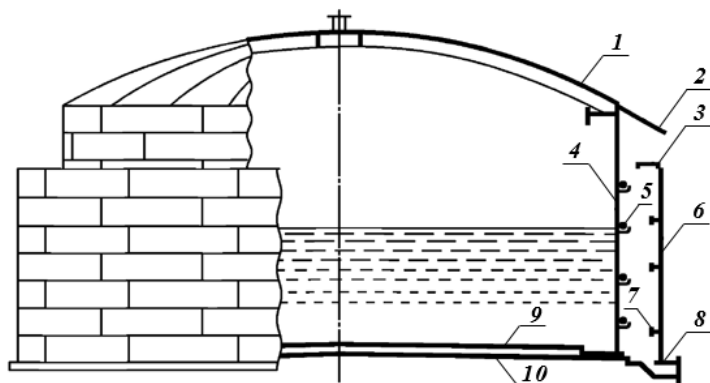


Рисунок 5 – Конструктивное решение резервуара с защитной стенкой:

1 – стационарная крыша; 2 – атмосферозащитный козырек; 3 – ветровое кольцо; 4 – основная стенка; 5 – аварийные канаты; 6 – защитная стенка; 7 – кольца жесткости; 8 – лотковый зумпф; 9 – основное днище; 10 – защитное днище

При этом, как уже отмечалось во введении, требования нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности как во Вьетнаме – TCVN 5684:2003 «Пожарная безопасность нефтяных сооружений. Общие требования», так и в России – СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности», на проектирование и строительство таких типов резервуаров не распространяются. Кроме этого, анализ ранее выполненных на кафедре ПБТП Академии ГПС МЧС России исследований по оценке доли жидкости, которая может перелиться через защитную стенку в зависимости от ее высоты и межстенного расстояния показал, что для полного удержания волны прорыва в границах защитной стенки ее высота должна не менее чем на 10 % превышать максимальный уровень жидкости в основном РВС до аварии. Очевидно, что строительство таких высоких защитных стенок экономически нецелесообразно, при этом возможно образование зон взрывоопасных концентраций как в межстенном пространстве, так и снаружи защитной стенки.

Таким образом, для предупреждения каскадного и катастрофического развития пожара в резервуарных парках ТЭС в СРВ актуальными представляются исследования, направленные на нахождение эффективного способа снижения высоты защитной стенки РВСЗС при максимальном уровне заполнения основного резервуара горючей жидкостью. В частности, предлагается рассмотреть возможность обустройства на защитной стенке ГВК или НВК, обращенного к стенке основного резервуара.

Эффективность предложенной конструкции защитного ограждения будет зависеть от геометрических параметров основного резервуара, межстенного расстояния и длины вылета волноотражающего козырька соответствующего вида. На нахождение зависимостей между указанными параметрами и были направлены дальнейшие исследования.

Во второй главе «Экспериментальное определение необходимой высоты защитной стенки с волноотражающим козырьком для локализации потока жидкости при разрушении основного резервуара» представлены обзор результатов исследований геометрических параметров ограждений различной конфигурации, описание модернизированного лабораторного стенда, методика проведения экспериментов по определению необходимой высоты защитной стенки с волноотражающим козырьком и массив полученных данных, анализ оценки влияния наклона волноотражающего козырька на высоту защитной стенки, эмпирические зависимости для определения геометрических параметров защитной стенки с волноотражающим козырьком.

Анализ результатов ранее выполненных исследований по рассматриваемой тематике позволил сделать следующие выводы:

- вопросы движения потока жидкости при разрушении резервуара и его воздействия на вертикальные защитные сооружения (стены) могут успешно решаться как теоретически, так и экспериментально;

- для нахождения оптимальных геометрических параметров защитных сооружений сложной конфигурации (стенки с Г-образным козырьком, в том числе под разным углом наклона, вогнутые, в виде логарифмической спирали, а также рвы различной формы или их комбинация со стенками), как правило, используется экспериментальный метод исследования;

- практически все экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях, где в качестве рабочей жидкости использовалась вода, при этом важно соблюдение критериев подобия и условий гидравлического моделирования, непосредственно влияющих на достоверность результатов;

- использовать полученные ранее зависимости для определения необходимой высоты защитной стенки с волноотражающим козырьком РВСЗС не представляется возможным, так как в первую очередь, не соответствует исследуемый диапазон расстояний от защитной стенки до резервуара (для РВСЗС – от 1,5 до 3 м; исследуемый ранее – от 3 до 30 м). Кроме этого, существенное влияние на высоту защитной стенки может оказывать ее вогнутая форма по отношению к набегающему потоку жидкости при разрушении основного резервуара;

- в качестве способа снижения высоты защитной стенки РВСЗС может рассматриваться возможность обустройства на ней ГВК или НВК, обращенных в сторону основного резервуара под углом 90° или 135° соответственно, как наиболее экономически целесообразных и эффективных по удержанию набегающего потока жидкости в случае возможного разрушения основного резервуара;

- для достижения поставленной в работе цели возможно применение лабораторно-экспериментального метода определения необходимой высоты защитной стенки РВСЗС, оборудованной ГВК или НВК, при этом необходимо выполнить соответствующую модернизацию лабораторного стенда (рисунок 6), разработанного специалистами кафедры ПБТП Академии ГПС МЧС России.

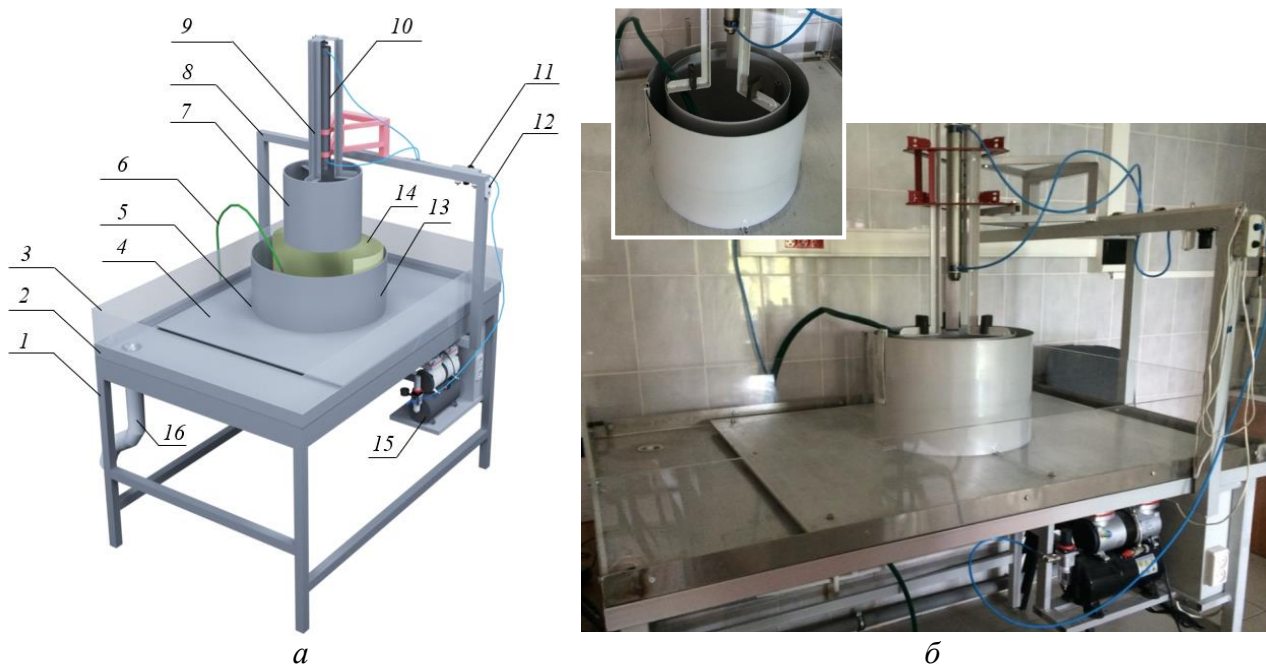


Рисунок 6 – Принципиальная схема (а) и общий вид (б) лабораторного стенда

Основой стенда является стальной каркас 1 (В×Ш×Г: 0,9×1,6×1,1 м). В качестве столешницы используется поддон 2 с высотой борта 0,05 м, в углу которого смонтирована арматура для удаления воды в канализацию 16 после проведения эксперимента. Для предотвращения перелива воды за борта поддона с внутренней их стороны установлены экраны из органического стекла 3 высотой 0,025 м. Непосредственно в поддоне 2 на четырех регулируемых по высоте опорах установлено основание 4 из листового алюминия толщиной 0,01 м, в которое встроены два горизонтальных уровня, а также уплотнительное резиновое кольцо 5, на которое под давлением, создаваемым поршнем 10, устанавливается модельный резервуар 7.

Для соблюдения идентичности воспроизведения процесса разрушения РВС непосредственно перед проведением каждого опыта внутрь резервуара устанавливается вкладка из монолитного поликарбоната 14, толщиной 0,0006 м, которая плотно прижимаясь к стенкам, повторяет его оболочку. Разрушение резервуара имитируется посредством его резкого поднятия поршнем, к штоку которого прикреплены три направляющие 9, жестко закрепленные на обечайке резервуара. Поршень жестко закреплен на раме 8, которая также имеет жесткое соединение с каркасом стенда 1. Высота рамы подобрана таким образом, чтобы при поднятии поршнем резервуара, установленный внутри него лист поликарбоната свободно раскрывался под действием гидростатического напора воды, моделируя разрушение резервуара. Нагнетание воздуха в поршень обеспечивает воздушный компрессор с ресивером 15, размещенный на площадке каркаса стенда. На раме 8 установлены манометр с датчиками давления 11 и кнопки управления 12, посредством нажатия на которые возможно осуществлять резкий подъем резервуара и его плавное опускание на резиновое кольцо с целью создания герметичности при заполнении его водой перед проведением опыта.

В качестве защитных стенок используются стальные цилиндрические обечайки 13, имеющие с внутренней стороны выступы с прорезями для болтового соединения с основанием 4, диаметром от 0,45 до 0,55 м, что позволяет их устанавливать на необходимом для изучения расстоянии от резервуара. В качестве натурального объекта был выбран резервуар типа РВС-700 м³ (внутренний диаметр $D_{вн} = 10,4$ м; высота стенки $H_{ст} = 9$ м; степень заполнения $\varepsilon = 0,95$; уровень жидкости $H_0 = 8,55$ м). Масштаб моделирования был принят равным 1:30, при этом параметры модельного резервуара 7 составили: внутренний диаметр $d_{вн} = 0,35$ м; высота стенки $h_{ст} = 0,3$ м; степень заполнения $\varepsilon = 0,95$; уровень жидкости $h_0 = 0,285$ м. Таким образом модельный резервуар обеспечивал герметичность конструкции при заполнении ее водой, имитацию разрушения резервуара со свободным раскрытием его стенок под действием напора жидкости, образование волны и ее воздействие на защитные стенки.

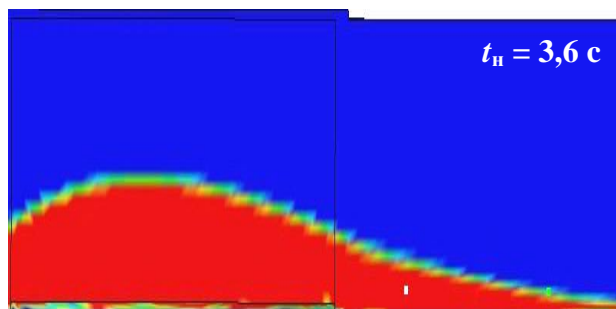
Важно отметить, что для возможности разработки лабораторного стенда, проведения экспериментов и переноса результатов на натурные объекты, были выбраны и обоснованы соответствующие критерии подобия (тождественность критериев Фруда и Струхалья) и условия моделирования гидравлических явлений (соблюдение турбулентности потоков, минимального масштаба модели, волнового подобия). При этом, для нахождения параметров потока в натуре использовались видеоматериалы эксперимента по разрушению РВС-700 м³ с водой (рисунок 7а), а также результаты численного моделирования процесса разрушения РВС-30000 м³ с водой в программном комплексе *LSDYNA* (рисунок 7б). Для нахождения параметров потоков на модели проводилась серия опытов по истечению жидкости при разрушении резервуаров, выполненных в масштабах 1:30 к РВС-700 м³ и 1:130 к РВС-30000 м³, при этом геометрическое подобие обеспечивали соответствующим уровнем жидкости в резервуаре (рисунок 7в).



а



в



б

Рисунок 7 – Характерные кадры движения воды при разрушении РВС-700 м³ (а), моделируемого РВС-30000 м³ (б) и модельного РВС-700 м³ (в) в соответствующие моменты времени $t_{н(м)}$

В целом, соблюдение критериев подобия и условий моделирования гидравлических явлений позволило сделать вывод о том, что изучаемый процесс находится в автомодельной области, а разработанный лабораторный стенд может использоваться для нахождения оптимальных геометрических параметров ограждений резервуаров, в частности, для РВСЗС, номинальным объемом от 700 до 30000 м³.

Для достижения поставленной в настоящей работе цели лабораторный стенд был модернизирован посредством обустройства в соответствующих масштабах моделирования (таблица 1) защитных стенок, оборудованных ГVK или НVK (рисунок 8).

Таблица 1 – Масштабные коэффициенты для модельных резервуаров

Номинальный объем натурного РВС, м ³	Внутренний диаметр, м	Высота стенки, м	Масштабный коэффициент λ_l	Уровень жидкости в модельном резервуаре, м
700	10,43	9	30	0,30
2000	15,18	12	43	0,28
5000	20,92	15	60	0,25
10000	28,50	18	81	0,22
20000	39,90	18	114	0,16
30000	45,60	18	130	0,14

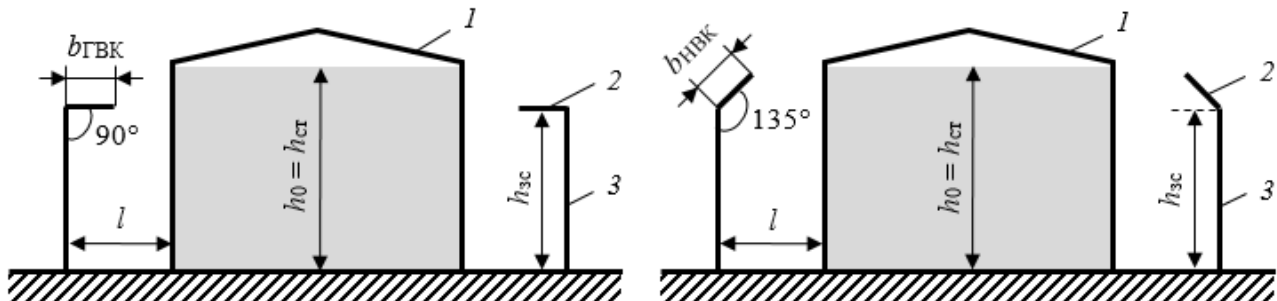


Рисунок 8 – Принципиальные схемы к определению необходимой высоты защитной стенки РВСЗС с ГVK (а) или НVK (б):

1 – резервуар с максимальным уровнем жидкости $h_0 = h_{ст}$ (здесь $h_{ст}$ – высота стенки основного резервуара); 2 – волноотражающий козырек с длиной вылета $b_{ГVK}$ или $b_{НVK}$; 3 – защитная стенка высотой $h_{зс}$, установленная на расстоянии l от стенки резервуара

На рисунке 9 показан общий вид лабораторного стенда с установленной по периметру основного резервуара защитной стенкой с ГVK (а) и НVK (б) соответственно на примере модели в масштабе 1:60 к натурному РВС-5000 м³: $h_0 = 0,25$ м; $l = 0,05$ м; $b_{ГVK} = b_{НVK} = 0,025$ м.

Межстенное расстояние (l) изменялось в соответствующем масштабе моделирования от $l_{min} = 1,5$ м до $l_{max} = 3$ м с шагом в 0,3 м, а длина вылета волноотражающего козырька ($b_{ГVK}$, $b_{НVK}$) – от $b_{min} = 0,5$ м до $b_{max} = 1,5$ м с шагом в 0,25 м.



a

б

Рисунок 9 – Общий вид лабораторного стенда для нахождения необходимой высоты защитной стенки РВСЗС в зависимости от ее удаленности от стенки резервуара и длины вылета ГВК (*a*) или НВК (*б*)

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. На основании стенда по периметру резервуара на соответствующем расстоянии (таблица 2) обустраивалась защитная стенка, конструктивно выполненная в виде стальной обечайки.

Таблица 2 – Значения межстенных расстояний РВСЗС с учетом масштабных коэффициентов

Масштабный коэффициент λ_l	Расстояние от стенки модельного резервуара до защитной стенки для соответствующего натурального расстояния, м			
	1,5	2,1	2,4	3,0
30	0,050	0,070	0,080	0,100
43	0,035	0,049	0,056	0,070
60	0,025	0,035	0,040	0,050
81	0,019	0,026	0,030	0,037
114	0,013	0,018	0,021	0,026
130	0,012	0,016	0,018	0,023

Стенка жестко крепилась к основанию стенда посредством болтового соединения, а ее герметичность обеспечивалась за счет применения герметика. Высота стенки соответствовала уровню, образуемому при гидростатическом истечении жидкости из модельного резервуара. Такая конструкция внутренней стенки позволяла закреплять на ней посредством использования замкового устройства дополнительную стальную обечайку, оборудованную ГВК или НВК соответствующей длины вылета (см. рисунок 9).

Далее в ресивере компрессором создавалось давление в 4 кгс/см^2 . С помощью кнопок управления резервуар поршнем плавно опускался на уплотнительное резиновое кольцо, обеспечивая герметичность. Внутри резервуара устанавливалась вкладка из поликарбоната высотой, соответствующей максимальному уровню жидкости в каждом резервуаре (см. таблицу 1). Резервуар заполнялся водой до требуемого уровня, при этом вкладка плотно прижималась к стенкам, повторяя оболочку резервуара. В ресивере компрессором создавалось рабочее давление в 6 кгс/см^2 .

С помощью кнопок управления резервуар поршнем резко поднимался вверх и под действием гидростатического давления воды вставка раскрывалась, имитируя разрушение резервуара с образованием потока и его воздействием на защитную стенку. В случаях визуального наблюдения перелива воды высоту стенки с ГVK (НVK) увеличивали с шагом от 0,001 м, перемещая ее вверх по обечайке и закрепляя замковым устройством. Опыты повторяли до тех пор, пока жидкость полностью не удерживалась в границах ограждения, при этом весь процесс регистрировался цифровой фотокамерой (рисунок 10).

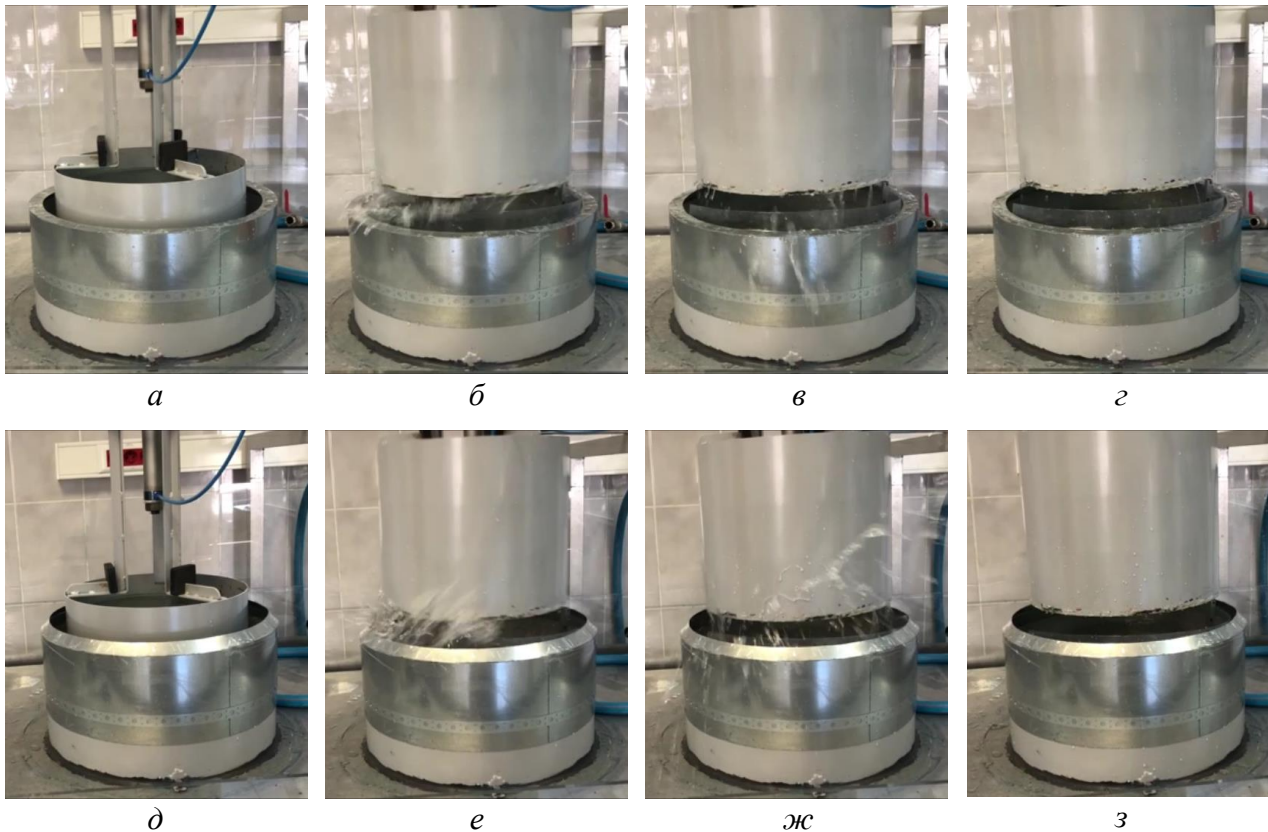


Рисунок 10 – Характерные кадры воздействия потока жидкости при разрушении модельного РВС-5000 м³ на защитную стенку с ГVK (*а–д*) и с НVK (*е–з*) ($h_0 = 0,25$ м; $l = 0,05$ м; $b_{ГVK} = b_{НVK} = 0,025$ м)

Вывод о нахождении необходимой высоты защитной стенки с ГVK или НVK делался на основании равенства объемов жидкости в резервуаре до имитации аварии и в границах ограждения после его разрушения. Для возможности проведения соответствующих вычислений перед проведением каждого опыта инструментальной линейкой производился замер уровня воды в резервуаре, а после имитации его разрушения – уровня воды в границах защитной стенки.

Следует отметить, что при нахождении искомой высоты защитной стенки с соответствующим видом волноотражающего козырька каждый опыт с целью соблюдения повторяемости и достоверности результатов производили не менее трех раз, при этом общее количество выполненных экспериментов превысило 1000 (массив полученных данных представлен в рукописи диссертации).

Для анализа влияния наклона козырька на высоту защитной стенки полученные экспериментальные данные были представлены в виде зависимостей безразмерного параметра (h_{zc}/h_0), определяющего необходимую высоту защитной стенки для полного ограничения потока жидкости при разрушении резервуара, от безразмерного параметра (l/l_{\min}), определяющего расстояние, на котором может быть установлена защитная стенка, и длины вылета козырька соответствующего вида ($b_{ГВК}$, $b_{НВК}$). На рисунке 11, в качестве примера, представлены соответствующие зависимости для РВСЗС-5000 м³ (для остальных резервуаров – в диссертационной работе), где для сравнения также представлены: красная пунктирная линия – требуемая высота защитной стенки без козырька; синяя сплошная линия – максимальный уровень жидкости в резервуаре до аварии ($h_0 = h_{ст}$); красная сплошная линия – нормативная высота защитной стенки ($0,8h_0$); синяя пунктирная линия – высота защитной стенки без козырька, рассчитанная на гидростатическое удержание пролитого продукта.

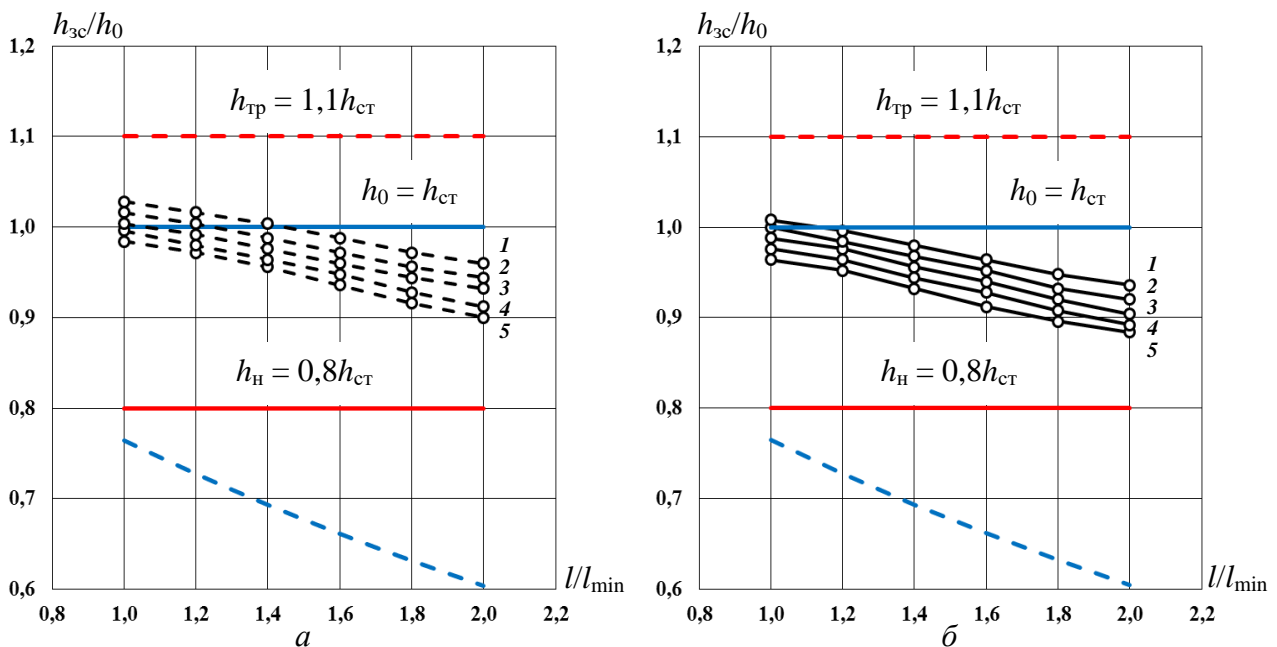


Рисунок 11 – Зависимости для определения высоты защитной стенки от расстояния до стенки РВСЗС-5000 м³ и длины вылета козырька $b_{ГВК}$ (a) = $b_{НВК}$ (b):
 1 – 0,5 м; 2 – 0,75 м; 3 – 1 м; 4 – 1,25 м; 5 – 1,5 м

Анализируя представленные на рисунке 11 зависимости, с учетом критерия эффективности влияния волноотражающего козырька, в качестве которого рассматривалась возможность снижения высоты защитной стенки с ГВК или НВК до или ниже максимального уровня жидкости в основном резервуаре до разрушения, сделаны следующие выводы:

– независимо от вида волноотражающего козырька (ГВК или НВК) его обустройство на защитной стенке РВСЗС позволяет существенно снизить ее высоту ($0,85h_0 \leq h_{zc} \leq 1,05h_0$) относительно экспериментально установленной требуемой высоты защитной стенки без козырька ($h_{TP} = 1,1h_{ст}$) на всем исследуемом диапазоне межстенных расстояний (от 1,5 до 3 м);

– независимо от вида волноотражающего козырька (ГВК или НВК) и длины его вылета (от 0,5 до 1,5 м) высота защитной стенки будет превышать нормативно установленное значение ($h_n = 0,8h_{ct}$), а также высоту защитной стенки без козырька, рассчитанную на гидростатическое удержание пролитого продукта, на всем исследуемом диапазоне межстенных расстояний;

– наиболее эффективным является обустройство на защитной стенке НВК, позволяющего в диапазоне межстенного расстояния от 1,8 до 3 м с учетом длины его вылета существенно снизить высоту защитной стенки ($0,85h_0 \leq h_{zc} \leq h_0$).

Вследствие того, что для исследуемых типов РВСЗС графическое отображение экспериментальных данных имеет схожий характер (см. рисунок 11), то выдвинуто предположение о наличии зависимостей вида:

$$\frac{h_{zc}}{h_0} = f\left(\frac{d_{BH}}{h_0}; \frac{l}{l_{min}}; \frac{b_{ГВК(НВК)}}{b_{min}}\right). \quad (1)$$

Нахождение искомых зависимостей производилось методом многофакторного регрессионного анализа с использованием диалогового статистического пакета для *IBM/PC – STATGRAPHICS*. В результате обработки экспериментальных данных получены искомые эмпирические зависимости для соответствующего диапазона изменения параметров, а также величины достоверности аппроксимации (R^2), критические значения F -критерия Фишера ($F_{кр}$), значения F -критерия Фишера в модели (F_M), а также доверительные интервалы (Δ) при уровне значимости $\alpha = 5\%$:

$$10,43 \text{ м} \leq d_{BH} \leq 45,6 \text{ м}; 9 \text{ м} \leq h_0 \leq 18 \text{ м}; 1,5 \text{ м} \leq l \leq 3 \text{ м}; 0,5 \text{ м} \leq b_{ГВК, НВК} \leq 1,5 \text{ м};$$

$$\frac{h_{zc}}{h_0} = 1,166 - 0,011 \frac{d_{BH}}{h_0} - 0,078 \frac{l}{l_{min}} - 0,03 \frac{b_{ГВК}}{b_{min}}; \quad (2)$$

$$R^2 = 95,87\%; F_{кр} = 2,662; F_M = 1360,97; \Delta = 0,014;$$

$$\frac{h_{zc}}{h_0} = 1,14 - 0,009 \frac{d_{BH}}{h_0} - 0,082 \frac{l}{l_{min}} - 0,03 \frac{b_{НВК}}{b_{min}}; \quad (3)$$

$$R^2 = 96,09\%; F_{кр} = 2,662; F_M = 1441,75; \Delta = 0,014.$$

Высокая достоверность аппроксимации (более 95 %), а также значительное превышение значения F -критерия Фишера в моделях (1360,97 и 1441,75 соответственно) над его критическим значением ($F_{кр} = 2,662$), позволили сделать вывод об удовлетворительной сходимости выборок, то есть полученные зависимости адекватно описывают изучаемый процесс и могут использоваться на практике в соответствующем диапазоне изменения исходных параметров.

Таким образом в результате выполненных исследований установлено, что обустройство на защитной стенке РВСЗС ГВК или НВК является эффективным способом, направленным на снижение ее высоты до или ниже максимального уровня горючей жидкости в основном резервуаре.

В третьей главе «Рекомендации по определению геометрических параметров защитной стенки с волноотражающим козырьком резервуара типа «стакан в стакане»» представлены рекомендации, содержащие общие положения, а также метод определения геометрических параметров защитной стенки с ГВК или НВК РВСЗС, включая расчетные схемы (см. рисунок 8), эмпирические формулы (2) и (3), а также графические зависимости для предварительной оценки необходимой высоты защитной стенки с целью локализации волны прорыва при квазимгновенном разрушении основного типового резервуара номинальным объемом от 700 до 30000 м³.

Заключение содержит констатацию основных научных и практических результатов работы.

В приложении представлены акты внедрения результатов работы в национальный стандарт СРВ по пожарной безопасности, проектную документацию на реконструкцию резервуарного парка ТЭС в СРВ и учебный процесс в Институте пожарной безопасности МОБ СРВ и Академии ГПС МЧС России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ современного состояния электроэнергетики, являющейся одной из приоритетных отраслей экономики СРВ показал, что основными производителями электрической энергии являются ГЭС и ТЭС с паротурбинными блоками, работающими на угле, мазуте, дизельном топливе и с комбинированными газопаротурбинными установками. При этом в ближайшие десятилетия на ТЭС будет приходиться до 50 % всей вырабатываемой в стране электрической энергии.

2. В результате анализа территориального размещения ТЭС установлено, что почти все станции (94 %) находятся или проектируются непосредственно в черте плотной застройки населенных пунктов, при этом в 87 % границы их территорий имеют сближения с водными объектами, в основном реками, что обосновывается необходимостью обустройства водоемов-охладителей, приспособленных для отвода значительного количества тепла, образующегося в ходе технологических процессов на ТЭС, а также доставки топлива водным транспортом.

3. Прием, хранение, подогрев, выдача и обезвоживание топлива на ТЭС осуществляется в РВС номинальным объемом от 700 до 30000 м³, которые располагаются в группах, имеющих по периметру замкнутое грунтовое обвалование или железобетонное ограждение, конструктивно выполненное в виде вертикальных стен, рассчитанных на гидростатическое давление пролитой жидкости. При этом примерно на 10 % территорий ТЭС группы РВС не имеют сплошного ограждения, а по периметру отбортованы лишь бордюрным камнем.

4. По результатам анализа статистических данных о разрушениях РВС на объектах ТЭК РФ, а также характерных аварий РВС на объектах ТЭК других стран, в том числе СРВ, доказано, что нормативные ограждения резервуарных парков не способны удержать образующийся в этом случае мощный гидродинамический поток жидкости (волну прорыва), что неоднократно приводило к каскадному развитию аварий или возникновению ЧС, в том числе, экологическим катастрофам, нередко – к гибели и травмам людей.

5. Поскольку большинство эксплуатируемых (проектируемых) резервуарных парков на ТЭС в СРВ находятся (будут находиться) в непосредственной близости к водоемам, в качестве примера выполнено прогнозирование обстановки при разрушении типового РВС-20000 м³ с мазутом на территории действующей ТЭС «О Мон 1» в провинции Кан Тхо в сторону протекающей вблизи р. Хау. Показано, что развитие такого сценария помимо большого экономического ущерба неминуемо приведет к серьезным негативным экологическим последствиям вследствие возможного попадания в реку более 16000 м³ мазута. Кроме этого, при разрушении РВС в сторону противоположную водоему возможно ожидать каскадное развитие аварии (пожара) вследствие вовлечения в инцидент значительного количества различных сооружений и технологического оборудования ТЭС.

6. На основе изучения требований нормативных документов в области пожарной и промышленной безопасности резервуарных парков хранения горючих жидкостей, действующих как в СРВ, так и в РФ, представлена классификация способов, направленных на предотвращение возникновения волны прорыва или ее локализацию в границах ограждения. В результате анализа указанных способов обосновано, что для предотвращения каскадного развития аварий на территориях ТЭС в СРВ наиболее перспективным является способ локализации потока жидкости, основанный на применении РВСЗС, состоящего из основного (внутреннего) резервуара и защитной стенки. При этом выявлено, что требования нормативных документов в области пожарной безопасности как в СРВ, так и в РФ, на проектирование и строительство таких типов резервуаров не распространяются.

7. В результате анализа ранее выполненных исследований по оценке доли жидкости, которая может перелиться через защитную стенку в зависимости от ее высоты и межстенного расстояния установлено, что для полного удержания волны прорыва в границах защитной стенки ее высота должна не менее чем на 10 % превышать максимальный уровень жидкости в основном резервуаре до аварии. Очевидно, что строительство таких высоких защитных стенок экономически нецелесообразно, при этом возможно образование зон взрывоопасных концентраций как в межстенном пространстве резервуара, так и снаружи защитной стенки.

8. Предложен способ снижения высоты защитной стенки на основе обустройства на ней горизонтального или наклонного волноотражающего козырька, обращенного в сторону стенки основного резервуара с учетом его заполнения жидкостью до максимального уровня.

Произведена модернизация лабораторного стенда и разработана методика проведения экспериментов по определению необходимой для полного удержания потока жидкости в случае разрушения основного резервуара высоты защитной стенки с обустроенным на ней ГВК или НВК.

9. Экспериментально доказано, что обустройство на защитной стенке ГВК или НВК является эффективным способом, направленным на ее снижение до или ниже максимального уровня жидкости в основном резервуаре, в зависимости от межстенного расстояния и длины вылета волноотражающего козырька:

– независимо от вида волноотражающего козырька его обустройство на защитной стенке позволяет снизить ее высоту ($0,85h_0 \leq h_{зс} \leq 1,05h_0$) относительно ранее установленной требуемой высоты защитной стенки без козырька ($h_{тр} = 1,1h_{ст}$) на всем исследуемом диапазоне межстенных расстояний (от 1,5 до 3 м);

– независимо от вида волноотражающего козырька и длины его вылета (от 0,5 до 1,5 м) высота защитной стенки будет превышать нормативно установленное значение ($h_n = 0,8h_{ст}$), а также высоту защитной стенки без козырька, рассчитанную на гидростатическое удержание пролитого продукта, на всем исследуемом диапазоне межстенных расстояний;

– наиболее эффективным является обустройство на защитной стенке НВК, позволяющего в диапазоне межстенного расстояния от 1,8 до 3 м с учетом длины его вылета существенно снизить высоту защитной стенки ($0,85h_0 \leq h_{зс} \leq h_0$), а в диапазоне от 1,5 до 3 м – до 5 % по сравнению с обустройством ГВК.

10. В результате обработки опытных данных методом многофакторного регрессионного анализа получены эмпирические формулы для определения необходимой высоты защитной стенки для полного удержания потока жидкости в зависимости от геометрических параметров основного резервуара номинальным объемом от 700 до 30000 м³, межстенного расстояния (от 1,5 до 3 м) и длины вылета волноотражающего козырька (от 0,5 до 1,5 м) соответствующего вида.

11. Разработаны рекомендации по определению оптимальных геометрических параметров защитной стенки с ГВК (НВК) РВСЗС с целью предотвращения каскадного развития аварии (пожара) или ЧС в резервуарном парке ТЭС в СРВ, при этом обустройство дополнительного ограждения не требуется, поскольку вся жидкость при возможном разрушении основного резервуара будет удерживаться предложенной конструкцией преграды. Кроме этого, такое ограждение будет частично или полностью выполнять роль погодозащитного козырька, нормативно рекомендуемого к установке на РВСЗС для перекрытия межстенного расстояния. В тоже время необходимо обеспечить устойчивость защитной стенки не только к гидродинамическому воздействию потока жидкости, но и возможному динамическому влиянию разрушающихся при аварии основного резервуара конструкций, что может являться предметом дальнейших научных исследований.

Основные научные результаты работы опубликованы в следующих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:

1. Буй, К.Т. Технологии предотвращения чрезвычайных ситуаций при авариях резервуаров с нефтью и нефтепродуктами [Текст] / К.Т. Буй, С.А. Швырков, В.В. Воробьев, Е.А. Афанасьев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 3. – С. 11–19. DOI: 10.25257/FE. 2020.3.11-19.

2. Буй, К.Т. Горизонтальный волноотражающий козырек для снижения высоты защитной стенки резервуара типа «стакан в стакане» [Текст] / К.Т. Буй, С.А. Швырков, В.В. Воробьев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 1. – С. 48–56. DOI: 10.25257/FE.2022.1.48-56.

3. Буй, К.Т. Наклонный волноотражающий козырек для снижения высоты защитной стенки резервуара типа «стакан в стакане» [Электронный ресурс] / К.Т. Буй, С.А. Швырков, В.В. Воробьев, Л.Т. Панасевич // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 2(69). – 12 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2022-2/12-02-22.ttb.pdf>. DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.8-19.

4. Буй, К.Т. Влияние наклона волноотражающего козырька на высоту защитной стенки резервуара типа «стакан в стакане» [Текст] / К.Т. Буй // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 2. – С. 5–11. DOI:10.25257/FE.2022.2.5-11.

Остальные публикации по теме диссертации:

5. Буй, К.Т. Проблемы локализации разливов нефтепродуктов при авариях резервуаров на объектах нефтегазовой промышленности Вьетнама и России [Текст] / К.Т. Буй // Материалы 30-ой Международной научно-технической конференции: Системы безопасности – 2021. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 47–51.

6. Буй, К.Т. Актуальные вопросы пожарной безопасности при проектировании резервуаров с защитной стенкой на объектах нефтегазовой отрасли России и Вьетнама [Текст] / К.Т. Буй, С.А. Швырков // Материалы I Международной научно-практической конференции: Система безопасности. – Улан-Батор: Университет Внутренних Дел Монголии, 2021. – С. 116–121.

7. Буй, К.Т. Влияние горизонтального волноотражающего козырька на высоту защитной стенки резервуара типа «стакан в стакане» [Текст] / К.Т. Буй, С.А. Швырков // Материалы VIII Международной научно-практической конференции: Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации; в 2 ч. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. – Ч. 1. – С. 37–43.

8. Буй, К.Т. Влияние наклонного волноотражающего козырька на высоту защитной стенки резервуара типа «стакан в стакане» [Текст] / К.Т. Буй, С.А. Швырков // Материалы XI Международной научно-практической конференции: Проблемы техносферной безопасности – 2022. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 29–35.

Подписано в печать 17.11.2023. Формат 60x84/1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 503

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4