

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Технология (методика) оценивания эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий

Студент

М.С. Кудряшов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент, А.В. Щипанов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

## Содержание

Введение.....	3
Термины и определения .....	5
Перечень сокращений и обозначений.....	6
1 Обзор научно-теоретического материала.....	7
1.1 Оценивание эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий .....	7
1.2 Особенности обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий.....	17
2 Анализ обеспечения пожарной безопасности.....	31
2.1 Анализ статистики пожаров на промышленных предприятиях .....	31
2.2 Анализ характеристики объекта исследования .....	38
3 Исследовательская часть .....	51
3.1 Анализ эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности предприятия .....	51
3.2 Организации действий сотрудников предприятия при пожаре .....	53
3.3 Технические решения по уменьшению пожарного риска .....	84
3.4 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации.....	93
Заключение .....	99
Список используемых источников.....	102

## Введение

Анализ рисков доказал свою ценность в качестве инструмента управления при оценке общих показателей безопасности промышленности и операций по обращению с опасными веществами в конкретном месте.

Методы анализа рисков обеспечивают передовые средства моделирования ситуаций в дополнение к другим методам идентификации, анализа, оценки, контроля и управления опасностями для выявления потенциала таких инцидентов и оценки стратегий контроля риска.

Риск состоит из двух переменных: величины последствий и вероятности наступления.

Программное обеспечение, разработанное DNV, используется для исследований по оценке рисков, связанных с легковоспламеняющимися и токсичными опасностями, где также необходимо определить индивидуальные и социальные риски. Это позволяет пользователю оценить физические последствия случайного выброса токсичных или легковоспламеняющихся химических веществ.

Важно сравнить нормы, установленные к конкретному объекту показатели пожарного риска, с соответствующими контрольными показателями, прежде чем выносить суждения об эффективности мер пожарной безопасности. Контрольные показатели позволяют оценить уровень безопасности в конкретном блоке, позволяя проводить сравнения.

Актуальность и научная значимость настоящего исследования обуславливается тем, что, эффективность системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий имеет важное значение для безопасности любого здания.

Объект исследования: склад ГСМ.

Предмет исследования: системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий.

Цель исследования – оценить эффективность функционирования системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий.

Гипотеза исследования состоит в том, что разработанные мероприятия систем обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий могут быть применены к подобным предприятиям РФ.

В соответствии с поставленной в работе целью, определены следующие задачи:

- рассмотреть методы оценивания эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий;
- рассмотреть особенности обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий;
- провести анализ статистики пожаров на промышленных предприятиях;
- проанализировать характеристики объекта исследования;
- проанализировать эффективность функционирования системы обеспечения пожарной безопасности предприятия;
- разработать действия сотрудников предприятия при пожаре;
- разработка мероприятий по снижению пожарного риска.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: статистические показатели обстановки с пожарами и их последствиями на производственных объектах.

Базовыми для настоящего исследования явились также: требования к обеспечению показателей пожарного риска для производственных объектов.

Методы исследования: анализ статистических показателей обстановки с пожарами и их последствиями на производственных объектах, расчёты пожарного риска исследуемого объекта.

Опытно-экспериментальная база исследования: группа резервуаров для хранения бензина.

Научная новизна исследования заключается в создании эффективной системы обеспечения пожарной безопасности группы резервуаров для хранения бензина.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности складов ГСМ и резервуарных парков.

Практическая значимость исследования заключается во внедрении на предприятии мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности при разгерметизации резервуаров с ЛВЖ.

Достоверность и обоснованность результатов: произведено моделирование различных сценарий разгерметизации резервуаров и трубопроводов группы резервуаров с бензином.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в проведении анализ проекта – группа резервуаров с хранением бензина.

На защиту выносятся:

- результаты анализ статистики пожаров на промышленных предприятиях;
- результаты анализа основных показателей обстановки с пожарами;
- результаты анализа характеристики объекта исследования;
- результаты анализа эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности предприятия;
- рекомендуемые действия сотрудников предприятия при пожаре;
- разработанные мероприятий по снижению пожарного риска.

Структура магистерской диссертации работа обусловлена целью и задачами исследования, состоит из трёх разделов и содержит 45 рисунков, 15 таблицы, список используемых источников (35 источников). Основной текст работы изложен на 104 страницах.

## Термины и определения

В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Пожарная безопасность объекта защиты – состояние объекта защиты, характеризующее возможность предотвращения возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара [23].

Пожарная сигнализация – совокупность технических средств, предназначенных для обнаружения пожара, обработки, передачи в заданном виде извещения о пожаре, специальной информации и (или) выдачи команд [23].

Пожарная опасность веществ и материалов – «состояние веществ и материалов, характеризующее возможность возникновения горения или взрыва веществ и материалов» [23].

Система пожарной безопасности – комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на предотвращение пожара и ущерба от него [23].

Система предотвращения пожара – комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на исключения условий возникновения пожара.

## Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяются следующие сокращения:

АППГ – аналогичный период прошлого года.

ГЖ – горючая жидкость.

ГС – горючая среда.

ИЗ – источник зажигания.

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость.

ОТМ – организационно технические мероприятия.

ОФП – опасные факторы пожара.

ПБ – пожарная безопасность.

ПОУ – потенциально-опасный участок.

СПЗ – способы обеспечения пожарной безопасности.

ТС – технические средства.

ЧС – чрезвычайная ситуация.

## **1 Обзор научно-теоретического материала**

### **1.1 Технологии (методики) оценивания эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий**

Система пожарной безопасности – это обеспечение надлежащих мер пожарной безопасности в сложном здании или сооружении, которое допускает отклонение от предписанных показателей в любой конкретной области путем принятия других более высоких или компенсационных мер в другой области [10].

Могут существовать компромиссы между пассивными и активными мерами противопожарной защиты, которые либо позволяют проектировщику использовать материалы в новом приложении, либо позволяют пользователю здания оптимально использовать доступное пространство [11].

«В настоящее время существует значительное количество нормативных документов, относящихся к различным аспектам обеспечения безопасности объектов. Имеется количественная оценка пожароопасности помещений, а также попытка применения нормативных требований к интегрированной охране объектов. Однако они не дают чёткого представления о совокупности необходимых и достаточных мер по обеспечению безопасности объектов от угроз пожара и проникновения посторонних лиц. В связи с этим целесообразно введение комплексного показателя, количественное значение которого определяет уровень такой безопасности» [7].

«Основная цель, преследуя которую создаются системы пожарной безопасности (СПБ), состоит в исключении или уменьшении ущерба от пожара и обеспечения тем самым материального выигрыша» [7].

«Ущерб от пожара складывается из материальных и моральных потерь, а также ущерба жизни и здоровью людей. Материальные потери

легко поддаются количественной оценке и выражаются в денежной форме» [7].

«Людские потери при современных нормах общественного поведения и менталитете также имеют денежный эквивалент, выражаемый системой компенсаций пострадавшим или их семьям. Моральные потери при пожарах пока не имеют строго фиксированного денежного эквивалента и состоят в основном в падении рейтинга предприятия, которое не может обеспечить пожарную безопасность и, следовательно, стабильность поставок продукции» [7].

«Таким образом, для оценки эффективности применения системы пожарной безопасности может быть использована функция предотвращенного материального ущерба с учетом затрат на достижение требуемого уровня функционирования системы пожарной безопасности» [7].

Контекст проектирования пожарной безопасности – это необходимость оценки пожарной опасности и риска и предложения стратегий и проектов пожарной безопасности, основанных на производительности, а не на предписаниях [20].

Общепризнано, что эффективная противопожарная защита включает в себя ряд различных элементов, которые должны быть интегрированы в общие системы пожарной безопасности на предприятии [4].

Как минимум, эти элементы охватывают:

- организацию технологического процесса;
- мероприятия предупреждения пожара, включая процедуру административного контроля;
- комплексный анализ пожарной опасности технологических процессов и производств;
- определение мер пассивной противопожарной защиты;
- установку надежных и эффективных систем и оборудования для обнаружения и тушения пожара;

- периодическую проверку, техническое обслуживание и тестирование (где применимо) всех систем противопожарной защиты.

Чтобы определить эффективность противопожарной защиты на предприятии, необходимо оценить все эти элементы.

Схема оценки эффективности противопожарной защиты на предприятии представлено на рисунке 1.

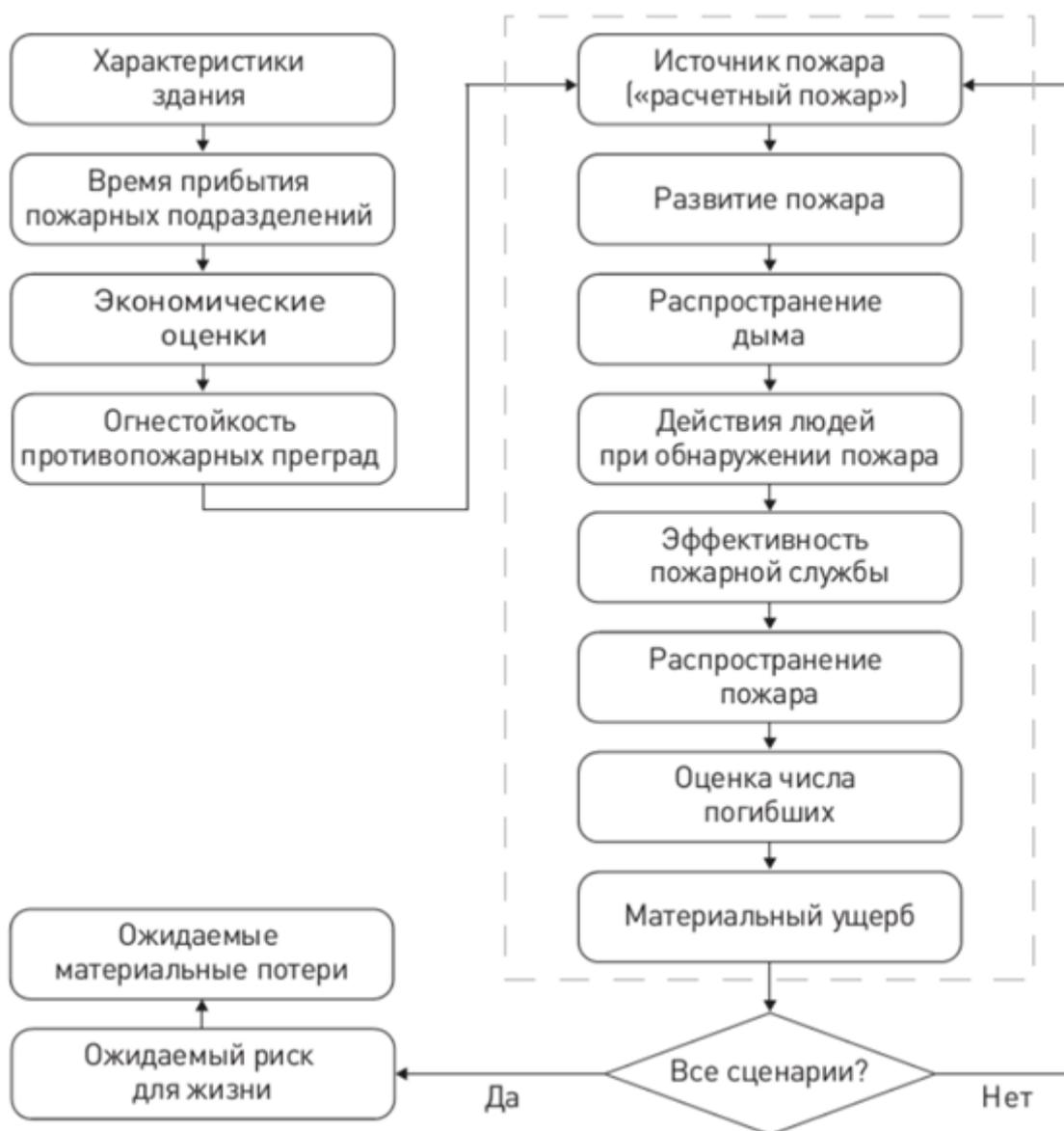


Рисунок 1 – Схема оценки эффективности противопожарной защиты на предприятии

Инструментами, поддерживающими проектирование пожарной безопасности, являются методы расчета (иногда называемые моделями), которые описывают измерения, взаимосвязи и взаимодействия, а также любые необходимые результаты тестов [21].

Входными данными являются физические данные для методов расчета, полученные на основе методов измерений (испытаний и т.д.).

На практике проектирование пожарной безопасности предполагает использование научно обоснованных или статистических расчетов для демонстрации эффективного уровня пожарной безопасности для конкретного здания, сооружения или установки [5].

Оценка эффективности пожарной безопасности здания разбивается, для упрощения процесса, на восемь отдельных компонентов системы (подсистемы, обозначаемые префиксами SS1 к SS8), относящиеся либо к инструментам для инженерной оценки пожарной безопасности (SS1-SS5), либо к целям пожарной безопасности (SS6 - SS8) [30].

SS1 Инициирование и развитие пожара.

Эта подсистема обеспечивает руководство по использованию методов для прогнозирования возгорания и развития пожара внутри помещения происхождения.

Подсистема обеспечивает основу для критического анализа потенциала возникновения и развития пожара. Подсистема может также предоставлять средства для оценки эффективности мер пожарной безопасности, предназначенных для снижения вероятности возгорания, контроля развития пожара и уменьшения высокой температуры, дыма и токсичных продуктов или продуктов, вызывающих нетепловые повреждения [14].

SS2 Образование сточных вод от тушения пожара.

Эта подсистема обеспечивает прогнозирование движения сточных вод от тушения пожаров в зданиях. Подсистема использует другие подсистемы для определения или характеристики пожара. Прогноз развития пожара обеспечивается подсистемой 1, прогноз распространения дыма и пламени

через отверстия решается подсистемой 2, в то время как распространение огня через противопожарные преграды обеспечиваются подсистемой 3.

Подсистема обеспечивает основу для критического анализа потенциала перемещения сточных вод во время пожара. Подсистема может также предоставлять средства для оценки эффективности мер пожарной безопасности, направленных на снижение неблагоприятных последствий перемещения сточных вод [24].

SS3 Структурная реакция и распространение огня за пределы противопожарных преград.

Эта подсистема обеспечивает прогнозирование распространения огня за пределы ограждения (например, помещения или отсека), в котором возник пожар, на соседние ограждения внутри здания, другие здания или внешние предметы. Подверженность здания внешним пожарам также решается этой подсистемой.

Подсистема использует другие подсистемы для определения характеристики пожара. Подсистема 1, например, обеспечивает прогнозирование времени до вспышки и температуры в помещении где возник пожар. Эти данные, наряду с описанием строительных узлов (параметры пробного проектирования), используются подсистемой для прогнозирования вероятности (и времени) распространения пожара и вероятности (и времени) обрушения конструкции [15].

Подсистема обеспечивает основу для критического анализа пригодности инженерных решений здания (расчет, выполненный вручную, компьютерный метод или испытание на огнестойкость) для оценки потенциала распространения пожара в данной ситуации. Это влечет за собой анализ единичных физических и химических процессов, участвующих в каждом из режимов распространения огня (например, от помещения к помещению, от здания к зданию). Также рассматривается доступность и надежность соответствующих входных данных для каждого единичного процесса.

Если огонь распространится из помещения или отсека источника пожара или произойдет локальное разрушение конструкции, не только будет нанесен дополнительный материальный ущерб, но и может быть поставлена под угрозу безопасность людей и пожарных за пределами помещения или отсека источника пожара. Следовательно, данные, генерируемые подсистемой 3, становятся входными данными для подсистемы 5.

Наконец, также приводятся рекомендации по интерпретации результатов анализа потенциального распространения огня. Это включает в себя руководство по выбору критериев оценки эффективности мер пожарной безопасности, направленных на снижение вероятности распространения пожара. Последнее возможно только в том случае, если четко определены цели проектирования пожарной безопасности [31].

SS4 – обнаружение и тушение пожара.

Эта подсистема обеспечивает прогнозирование времени, необходимого для обнаружения дыма или пламени широким спектром устройств. Это включает в себя время, необходимое для того, чтобы термочувствительные элементы в устройствах пожаротушения или других устройствах реагировали на поток газа, создаваемый зарождающимся или растущим пожаром. Подсистема также предоставляет рекомендации о том, как предсказать, как только произойдет обнаружение, время, необходимое для активации желаемой реакции на пожар, такой как сигнал тревоги, дымоудаление или запуск подачи огнетушащего вещества из устройств пожаротушения. Также рассматриваются методы оценки эффективности многих распространенных стратегий пожаротушения и борьбы с пожарами [25].

Подсистема 4 использует подсистемы 1-3, а именно характеристики размеров пожара, а также температурных полей, концентрации и скорости газа, создаваемых огнем в любое время после возгорания и инициирования пожара. Эта информация, наряду с описанием местоположения датчика из проектных параметров здания, используется подсистемой 4 для прогнозирования времени обнаружения и работы элементов, таких как

автоматические разбрызгиватели, которые позволяют выпускать огнетушащее вещество под давлением (например, воду или пену) из сопла.

Влияние различных стратегий подавления на скорость выделения тепла при пожаре оценивается в подсистеме 4. В настоящее время это осуществляется путем ссылки на национальные стандарты, своды правил и руководящие документы, а также использования технических решений при применении этих руководящих принципов к данному сценарию пожара. Как только предполагаемая стратегия пожаротушения (обычно с точки зрения требуемого расхода огнетушащего вещества) вступает в силу, между подсистемой 4 и подсистемой 2 требуется значительная обратная связь, чтобы можно было определить результирующую среду пожара (например, температуру газа и концентрацию вредных веществ). Если условия пожара неприемлемы, возможно, придется рассмотреть альтернативные стратегии тушения, такие как использование другого огнетушащего вещества или системы [2].

Время активации системы пожаротушения также определяется в подсистеме 4, чаще всего из множества входных данных информация, полученная от производителей различных систем обнаружения и пожаротушения. Гидравлическая конструкция систем спринклерных трубопроводов считается частью этого процесса активации, поскольку такая конструкция трубопроводов гарантирует, что необходимый расход воды или другого агента будет доступен, когда распределительные сопла активируются элементами обнаружения пожара [34].

SS5 – вмешательство пожарной службы.

Эта подсистема обеспечивает руководство по оценке темпов наращивания ресурсов пожаротушения пожарной службы, включая деятельность любых внутренних или частных пожарных бригад и, в частности:

- временной интервал между вызовом в пожарную службу и прибытием пожарной службы;

- временной интервал между прибытием пожарной службы и началом подачи огнетушащих веществ в зону пожара со стороны пожарной службы;
- временные интервалы, связанные с наращиванием любых необходимых дополнительных ресурсов пожарной службы;
- объем ресурсов для тушения пожаров и возможности тушения, доступные в разное время.

SS6 Жизнь, здоровье и безопасность людей [35].

Посетители и работники здания и пожарные, а также пожарные, находящиеся поблизости от здания, потенциально могут подвергнуться риску воздействия опасных факторов пожара. Поэтому основными целями обеспечения безопасности жизнедеятельности являются обеспечение того, чтобы:

- посетители и работники могут эвакуироваться в другую часть здания или полностью эвакуироваться из здания, не подвергаясь опасности;
- пожарные могут оказать помощь в эвакуации и предотвратить распространение огня;
- обрушение элементов конструкции не угрожало людям (включая пожарных), которые, вероятно, будут находиться рядом со зданием.

SS7 – защита собственности.

Последствия пожара для сохранения жизнеспособности бизнеса и инфраструктуры могут представлять жизненно важный интерес и могут быть существенными, поэтому следует рассмотреть вопрос об ограничении ущерба для структуры систем здания [12].

SS8 – охрана окружающей среды.

Пожар, охватывающий несколько зданий, или выброс большого количества опасных веществ может оказать воздействие на окружающую среду, которое совершенно не пропорционально размерам первоначального пожара. А небольшой пожар с участием некоторых токсичных продуктов,

который тушится водой, поступающей в соседнюю реку, может привести к значительному или обширному загрязнению окружающей среды [22].

Поэтому следует рассмотреть вопрос об ограничении воздействия пожара на соседние здания или сооружения и выброса опасных материалов в окружающую среду [6].

## **1.2 Особенности обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий**

Авария в нефтехимической промышленности может нанести серьезный ущерб здоровью людей и животных, имуществу, окружающей среде и экономике [7].

Это было доказано многими случаями в прошлом. Национальные законы, нормативные акты, национальные, европейские или международные стандарты или принятые принципы защиты определяют минимальные требования к безопасности и защите технологий.

Это ограничение определяет конкретные меры защиты и периодический контроль [3].

Компании нефтехимической промышленности часто подразделяются на отрасли с определенными типами технологий – объекты производства, хранилища, распределительные трубопроводы [16].

Каждая из этих технологий представляет определенную опасность для сотрудников, окружающей среды, окружающей среды или экономики (национальной, организационной) [17].

Техническая защита пожарной безопасности промышленных предприятий может включать датчики утечки, системы пожаротушения, аварийные резервуары, мониторинг технологических процессов (давление, температура, массовый расход и т.д.), системы видеонаблюдения [32].

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться:

- системами предотвращения пожара (СПП);

- системой противопожарной защиты (СПЗ);
- организационно-техническими мероприятиями (ОТМ).

Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования ГС и (или) предотвращением образования в ГС (или внесения в нее) источников зажигания. Одним из следующих способов или их комбинаций:

- максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов;
- максимально возможным, по условиям технологии и строительства, ограничением массы и (или) объема горючих веществ и наиболее безопасным способом их размещения;
- изоляцией горючей среды;
- поддержанием безопасной концентрации среды в соответствии с нормами и правилами другими нормативно-техническими документами и правилами безопасности;
- достаточной концентрацией флегматизатора в воздухе защищаемого объема (его составной части);
- поддержанием температуры и давления среды, при которых распространение пламени исключается;
- максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов;
- установкой пожароопасного оборудования по возможности в изолирующих помещениях или на открытых площадках;
- изменение устройств защиты технологических систем (элементов) с горючими веществами от повреждений и аварии, установкой отключающих, отсекающих и других устройств [13].

Предотвращение образования в горючей среде (ГС) источников зажигания (ИЗ) должно достигаться применением следующих способов или их комбинаций:

- применением машин, устройств, оборудования, при эксплуатации, которых не образуются ИЗ;
- применением электрооборудования в соответствии с ГОСТ 12.1.011 и ПУЭ;
- применением в конструкции быстродействующих средств отключения возможных ИЗ;
- применение технологического процесса и оборудования, отвечающим требованиям электростатической искробезопасности по ГОСТ 12.1.018.;
- устройством молниезащиты;
- поддержанием температуры нагрева поверхности машин, веществ, которые могут войти в контакт с ГС, ниже предельно допустимой, составляющей 80 % наименьшей температуры самовоспламенения горючего;
- исключением возможности появления искрового разряда в горючей среде с энергией, равной и выше минимальной энергии зажигания;
- применением неискрового инструмента при работе с ЛВЖ и горючими газами;
- ликвидацией условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов, изделий и конструкций;
- устранением контактов с воздухом пирофорных веществ;
- уменьшение определяющего размера ГС ниже предельного по горючести;
- строгое выполнение СНиП и ГОСТов [23].

Ограничение массы и (или) объема горючих веществ и материалов, а также наиболее безопасный способ их размещения должны достигаться:

- уменьшением массы и (или) объема горючих веществ и материалов, находящихся одновременно в помещении или неоткрытых площадках;

- устройством аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из аппаратуры;
- очисткой территории от горючих отходов, отложений пыли, пуха и т.д.;
- удалением пожароопасных отходов производства;
- заменой ЛВЖ и ГЖ на пожаробезопасные технические моющие средства [26].

Требования к способам обеспечения пожарной безопасности СПЗ. Противопожарная защита должна достигаться применением одного из следующих способов или их комбинаций:

- применением эффективных средств пожаротушения с соответствующими видами пожарной техники;
- применением АУПП и АУПТ;
- применением строительных конструкций и материалов с нормированными показателями пожарной опасности;
- применением пропитки конструкций объектов антипиренами и нанесением на их поверхности огнезащитных красок (составов);
- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;
- организации с помощью ТС, включая автоматические ТС, своевременного оповещения и эвакуации людей;
- применением средств коллективной, индивидуальной защиты людей от ОФП;
- применением эффективных средств противодымной защиты [27].

Ограничение распространение пожара за пределы очагов должно достигаться:

- устройством противопожарных преград;
- установлением предельно допустимых по технико-экономическим расчетам площадей противопожарных отсеков и секций, этажности зданий, но в пределах установленных норм;

- устройством аварийного отключения технологических систем и аппаратов;
- применение средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растеканий жидкостей при пожаре;
- применение огнепреграждающих устройств в оборудовании [33].

Каждый объект (производство) должен иметь объемно-планировочное и техническое решение и исполнение, чтобы эвакуация персонала из него была завершена до наступления предельно допустимых значений ОФП.

Средство коллективной и индивидуальной защиты должны обеспечивать безопасность персонала в течение всего времени действие ОФП [8].

Коллективную защиту следует обеспечивать с помощью пожаробезопасных зон и конструктивных решений. Средства индивидуальной защиты должны быть также для пожарных, участвующих в тушении пожара. Система противодымной защиты объектов должна обеспечивать незадымление, снижения температуры и удаление продуктов горения и термического разложения на путях эвакуации в течение времени, необходимого для эвакуации и (или) коллективную защиту людей и материальных ценностей. На каждом объекте должно быть обеспечено оповещение и (или) сигнализация о пожаре в его начальной стадии техническими или организационными мероприятиями или средствами. В производственных сооружениях должны быть предусмотрены лестничные клетки, противопожарные стены, лифты, наружные пожарные лестницы, аварийные люки и т.д., с достаточной устойчивостью и огнестойкостью конструкций при пожаре не менее времени, необходимого для спасения людей при пожаре и расчетного времени тушения пожаров. Для пожарной техники должны быть определены:

- быстроедействие и интенсивность подачи огнетушащих веществ;

- допустимые огнетушащие вещества, в том числе с позиций требований экологии и совместимости с горящими веществами и материалами;
- источники и средства подачи огнетушащих веществ для пожаротушения;
- нормативный (расчетный) запас огнетушащих веществ (порошковых, газовых, пенных, комбинированных);
- необходимая скорость наращивания подачи огнетушащих веществ с помощью транспортных средств оперативных пожарных служб;
- требования к устойчивости от воздействия ОФП и их вторичных проявлений;
- требования техники безопасности [1].

Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности. Организационно технические мероприятия (ОТМ) должны включать:

- организацию пожарной охраны, в том числе ведомственных служб пожарной безопасности в соответствии с существующими законодательными актами;
- привлечение общественности к вопросам обеспечения ПБ;
- организацию обучения работающих и населения правилам ПБ;
- разработку и реализацию норм, правил, инструкций по ПБ;
- изготовлению и применению наглядной агитации по обеспечению ПБ;
- порядок хранения веществ и материалов, тушения которых недопустимо одними и теми же средствами, в зависимости от их физико-химических и пожароопасных свойств;
- нормирование численности людей на объекте по условиям безопасности их для пожара;

- разработку мероприятий по действию администрации, рабочих, служащих и населения на случай возникновения пожара и организацию эвакуации людей;
- основные виды, количество, размещения и обслуживание пожарной техники (ГОСТ 12.1.009).Применяемая пожарная техника должна обеспечивать эффективное тушение пожара (загорания), быть безопасной для природы и людей [18].

Маршруты эвакуации работников должны учитывать местоположение потенциальных выбросов отравляющих веществ, преобладающие ветры.

Выводы по разделу.

Контекст проектирования пожарной безопасности – это необходимость оценки пожарной опасности и риска и предложения стратегий и проектов пожарной безопасности, основанных на производительности, а не на предписаниях.

Чтобы определить эффективность противопожарной защиты на предприятии, необходимо оценить все её элементы.

Оценка эффективности пожарной безопасности здания разбивается, для упрощения процесса, на восемь отдельных компонентов системы (подсистемы, обозначаемые префиксами SS1 к SS8), относящиеся либо к инструментам для инженерной оценки пожарной безопасности (SS1-SS5), либо к целям пожарной безопасности (SS6 - SS8).

На практике оценка пожарной безопасности предполагает использование научно обоснованных или статистических расчетов для демонстрации эффективного уровня пожарной безопасности для конкретного здания, сооружения или установки.

## **2 Анализ системы обеспечения пожарной безопасности**

### **2.1 Статистика пожаров на промышленных предприятиях**

На территории Оренбургской области за период с 2015 года по 2019 год зарегистрировано 22573 пожара, в том числе:

- «за 2015 – 3110 пожаров (8226 загорания);
- за 2016 – 2854 пожара (5208 загорания);
- за 2017 – 2569 пожаров, (5022 загорания);
- за 2018 – 2761 пожар, (9199 загорания);
- за 2019 – 11279 пожаров» [5].

«От опасных факторов пожара погибли 844 человека, в том числе:

- за 2015 – 169 человек;
- за 2016 – 154 человека;
- за 2017 – 121 человек;
- за 2018 – 134 человека;
- за 2019 – 158 человек» [5].

«При пожарах получили травмы 1094 человека, в том числе:

- за 2015 – 205 человек;
- за 2016 – 168 человек;
- за 2017 – 160 человек;
- за 2018 – 184 человека;
- за 2019 – 207 человек» [5].

«За период с 2014 по 2018 год по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования зарегистрировано 4969 пожаров, что составляет 34 % от общего количества пожаров, основными причинами пожаров также являются: неосторожное обращение с огнем – 3925 пожаров (27 %), поджог – 2338 пожаров (16 %), нарушение правил

устройства и эксплуатации печей – 1938 пожаров (13 %) и нарушение правил устройства и эксплуатации транспортных средств – 870 пожаров (6 %)» [5].

За 2019 год на территории Оренбургской области зарегистрировано 11279 пожаров. От опасных факторов пожара погибло 158 человек, в том числе 7 детей. По сравнению с аналогичным периодом 2018 года (далее – АП 2018 года), количество погибших увеличилось на 18 % (АП 2018 года). Травмировано за 2019 год 206 человек, в том числе 20 детей. По сравнению 2018 годом количество травмированных увеличилось на 12 % (АП 2018 года – 184).

За 2019 год по причине неосторожного обращения с огнем зарегистрировано 8730 пожаров, что составляет 78 % от общего количества пожаров, на которых погибло 83 человека, что составило 54 % от общего количества погибших.

Наибольшее количество пожаров, порядка 69% от общего количества пожаров, произошло в результате возгорания травы и мусора на открытых территориях (в 2019 году – 6922, в 2018 году – 3321), в жилом секторе зарегистрировано 2718 пожаров, что составляет 24 % от общего количества пожаров.

За 2019 год зарегистрировано 19 пожаров с групповой гибелью людей (от 2 до 3 человек), в результате которых погибли 42 человека. В 2018 году зарегистрировано 15 пожаров, в результате которых погибли 36 человек.

В 2019 году пожаров с массовой гибелью людей на территории Оренбургской области (пять и более человек) не зарегистрировано.

В 2019 году на территории Оренбургской области зарегистрирован 21 пожар, приведший к гибели и травмированию детей, за аналогичный период 2018 года произошло 10 пожаров. От опасных факторов пожара в 2019 году погибли 7 детей (АП 2018 года – 7) и 20 детей получили травмы (АП 2018 года – 7).

«Федеральный государственный надзор в области промышленной безопасности осуществляется в отношении 79 583 опасных производственных объектов нефтегазового комплекса, из них:

- 7051 опасный производственный объект нефтегазодобычи;
- 4364 опасных производственных объектов магистрального трубопроводного транспорта;
- 4147 опасных производственных объектов нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих производств и объектов нефтепродуктообеспечения;
- 64021 опасный производственный объект газораспределения и газопотребления» [5].

«За 2019 год на объектах нефтегазового комплекса произошло 53 аварии, в результате которых смертельно травмировано 23 человека. При этом в 2018 году на объектах нефтегазового комплекса произошло 56 аварий, в результате которых смертельно травмировано 16 человек» [5].

«Установлено, что основными объектами пожаров, по которым работали эксперты СЭУ ФПС «ИПЛ» (в процентном соотношении), являлись:

- резервуарные парки (нефтебазы) (30,75 % от общего числа заключений);
- резервуары для хранения нефтепродуктов, расположенные на территории нефтеперерабатывающих заводов (15 %);
- резервуары для хранения нефтепродуктов, расположенные на территории промышленных предприятий (2,5 %);
- нефтепроводы, расположенные на территории нефтебаз (2,5 %);
- автомобильные цистерны для перевозки нефтепродуктов (6,25 %);
- железнодорожные цистерны для перевозки нефтепродуктов на нефтебазе (2,5 %);
- сливо-наливные эстакады для налива нефтепродуктов (2,5 %);
- склад горюче-смазочных материалов (2,5 %);

- автозаправочные станции (резервуары для хранения и автомобили) (11,25 %)» [5].

Статистика пожаров по объектам нефтегазового комплекса представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Статистика пожаров по объектам нефтегазового комплекса

«Прочие объекты, не относящиеся непосредственно к хранению нефти и нефтепродуктов (ректификационные колонны, буровые установки для добычи нефти, нефтеналивные танкеры и др.), были объектами пожаров в 24,5 % от общего числа заключений» [5].

В целом, последствия пожаров, зарегистрированных на территории Российской Федерации в 2019 году на 100 тыс. человек населения, в Оренбургской области не превышают общероссийские:

- количество пожаров – 353,18 (по России – 320,72 пожаров), из них в жилье – 64,29 (по России – 63,74);
- количество погибших – 4,95 (по России – 5,79);
- количество травмированных – 6,42 (по России – 6,45).

## 2.2 Характеристика объекта исследования

В качестве объекта исследования рассмотрим группу резервуаров для хранения бензина (рисунок 3).

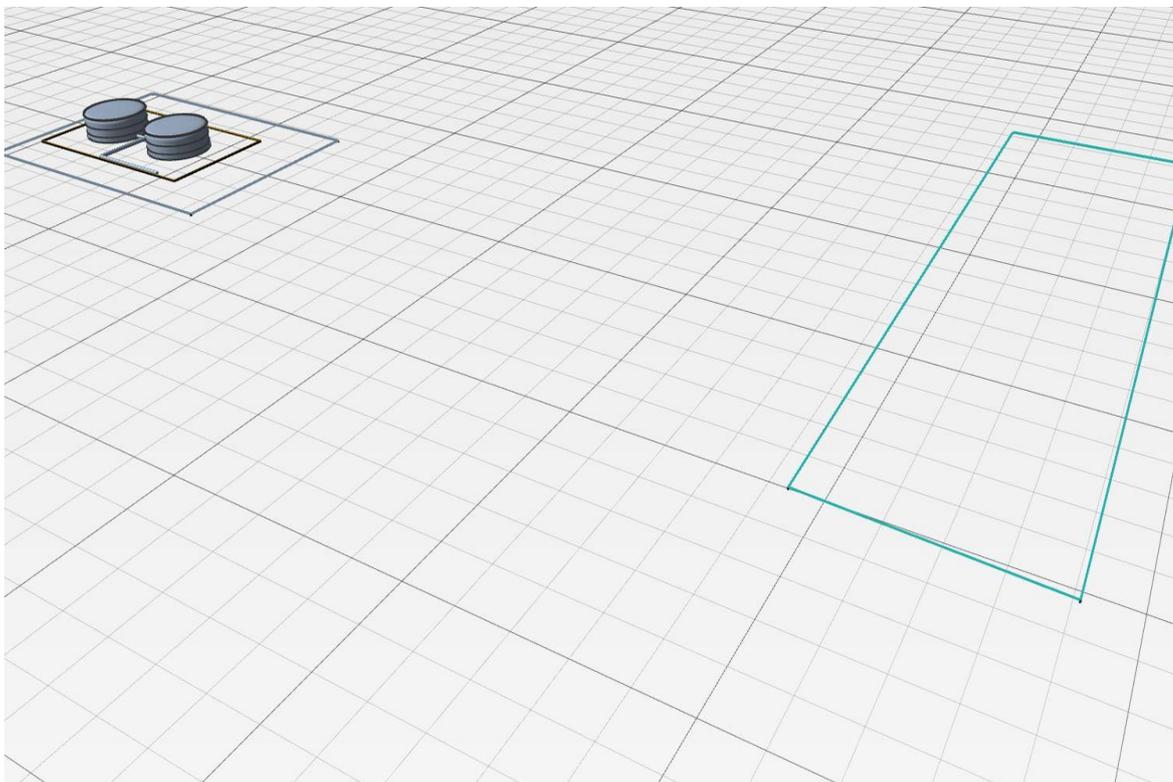


Рисунок 3 – Общий вид модели объекта

Группа резервуаров предназначена для хранения бензина (бензин марки АИ-93).

В состав группы резервуаров для хранения бензина входят два резервуара, каждый объемом по 10000 м<sup>3</sup> (диаметр резервуаров составляет 34,2 м, высота – 11,92 м) каждый резервуар имеет вход и выход продукта, по одному патрубку) диаметром 900 мм.

Резервуары стальные вертикальные цилиндрические с купольной крышей без понтона. Характеристики технологического оборудования представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Характеристики технологического оборудования

Параметр	Значение
Резервуар №1	
Горючая нагрузка	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)
Типовые аварийные события	да
Объем	10000 м <sup>3</sup>
Высота столба жидкости	10,9 м
Температура жидкости	37 °С
Диаметр	34,2 м
Высота	11,92 м
Коэффициент присутствия	1
Трубопровод-01	
Горючая нагрузка	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)
Типовые аварийные события	да
Внутренний диаметр	900 мм
Длина	99,8 м
Коэффициент присутствия	1
Способ подачи жидкости	самотеком
Расчетное время отключения	300 с
Резервуар №2	
Горючая нагрузка	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)
Типовые аварийные события	да
Объем	10000 м <sup>3</sup>
Высота столба жидкости	10,9 м
Температура жидкости	37 °С
Диаметр	34,2 м
Высота	11,92 м
Коэффициент присутствия	1
Трубопровод-02	
Горючая нагрузка	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)
Типовые аварийные события	да
Внутренний диаметр	900 мм
Длина	101,9 м
Коэффициент присутствия	1
Способ подачи жидкости	самотеком
Расчетное время отключения	300 с

Группа резервуаров для хранения бензина имеет ограждающее обвалование, рассчитанное на гидростатическое давление разлившейся жидкости. Площадь внутри обвалования парка составляет 7000 м<sup>2</sup>.

Максимальная температура воздуха в климатической зоне: 37 °С. Вероятность штиля: 12 %. Повторяемость ветра представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Повторяемость ветра

направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
вероятность, %	72	15	13	0	0	0	0	0
скорость ветра, м/с	10	20	25	1	1	1	1	1

Характеристики территории объекта представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики территории объекта

Параметр	Значение
Класс загроможденности пространства	III - средне загроможденное пространство
Тип поверхности	Спланированное грунтовое покрытие
Площадь	17050 м <sup>2</sup>

Характеристики обвалований объекта представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики обвалований объекта

Параметр	Значение
Класс загроможденности пространства	III - средне загроможденное пространство
Тип поверхности	Спланированное грунтовое покрытие
Площадь	7040 м <sup>2</sup>
Высота обвалования	0,8 м

Характеристики селитебной зоны вблизи объекта (дачные участки) представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики селитебной зоны вблизи объекта (дачные участки)

Параметр	Значение
Площадь	34616,6 м <sup>2</sup>

Характеристики горючих веществ и материалов (Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)) представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики горючих веществ и материалов (Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67))

Параметр	Значение
Описание	C6,911H12,168
Молярная масса	95,3 кг/кмоль
Плотность жидкости	745 кг/м <sup>3</sup>
Температура вспышки	-37 °С
Температура кипения	90 °С
Нижний концентрационный предел распространения пламени	1,1 % об.
Массовая скорость выгорания	0,059 кг/(с·м <sup>2</sup> )
Константа Антуана А	4,26511
Константа Антуана В	695,019
Константа Антуана Са	223,22
Класс чувствительности	3
Корректировочный параметр	1

«Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций на рассматриваемом объекте в соответствии с был использован метод логических деревьев событий» [4].

«Построение логических деревьев событий, лежащих в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого объекта, осуществлялось исходя из следующих предпосылок» [4].

«В качестве инициирующих пожароопасные ситуации и пожары на объекте рассматриваются следующие события:

- разгерметизация резервуаров с образованием пролива в обваловании,
- полное разрушение резервуаров с образованием пролива в обваловании и переливом части жидкости за пределы обвалования;
- разгерметизация или полное разрушение трубопроводов топлива в пределах обвалования с образованием пролива в обваловании;
- разгерметизация или полное разрушение трубопроводов топлива за пределами обвалования с образованием пролива на свободной поверхности;

- разгерметизация гибких соединений при проведении сливно-наливных операций на сливной площадке для автоцистерны с образованием пролива на свободной поверхности;
- разрыв линии подачи топлива из ТРК в автомобиле» [4].

Вывод по разделу.

В целом, последствия пожаров, зарегистрированных на территории Российской Федерации в 2019 году на 100 тыс. человек населения, в Оренбургской области не превышают общероссийские:

- количество пожаров – 353,18 (по России – 320,72 пожаров), из них в жилье – 64,29 (по России – 63,74);
- количество погибших – 4,95 (по России – 5,79);
- количество травмированных – 6,42 (по России – 6,45).

Принимается, что случаи разгерметизации резервуара, характеризующиеся его полным разрушением, относятся к квазимгновенному разрушению резервуара (распад резервуара на приблизительно равные по размеру части в течение секунд или долей секунд). Для этих случаев принимается, что происходит перелив части хранимого в резервуаре продукта через обвалование.

### 3 Исследовательская часть

#### 3.1 Анализ системы обеспечения пожарной безопасности объекта исследования

Согласно статье 6 федерального закона №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», пожарную безопасность объекта защиты можно считать обеспеченной, если в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании», и пожарный риск не превышает допустимых значений.

Сценарии развития пожароопасных ситуаций представлены на рисунках 4-6 и таблице 7.

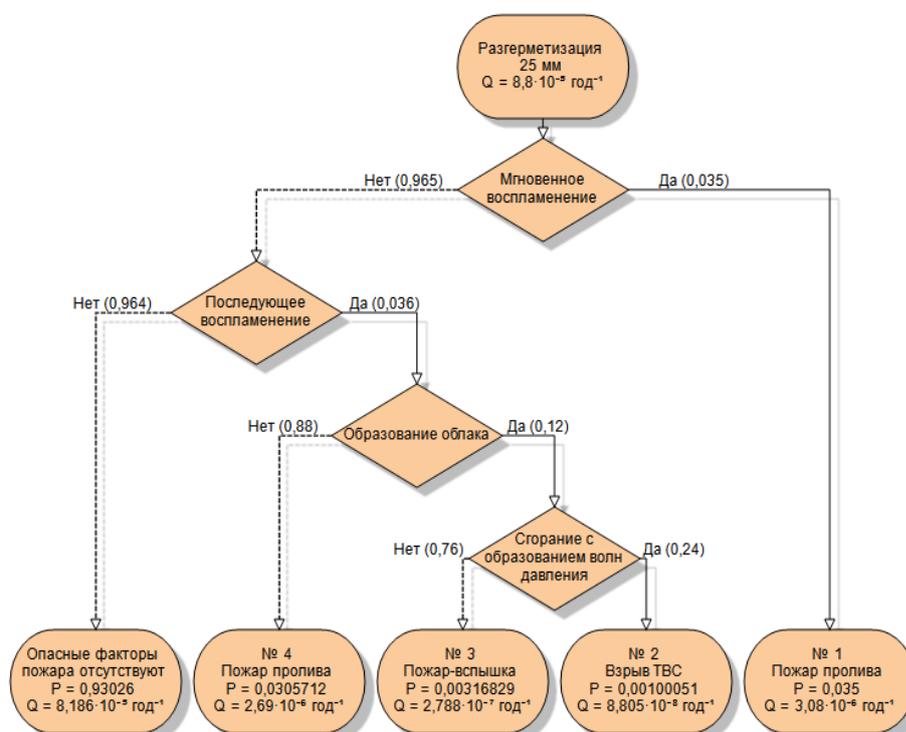


Рисунок 4 – Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разгерметизация 25 мм»

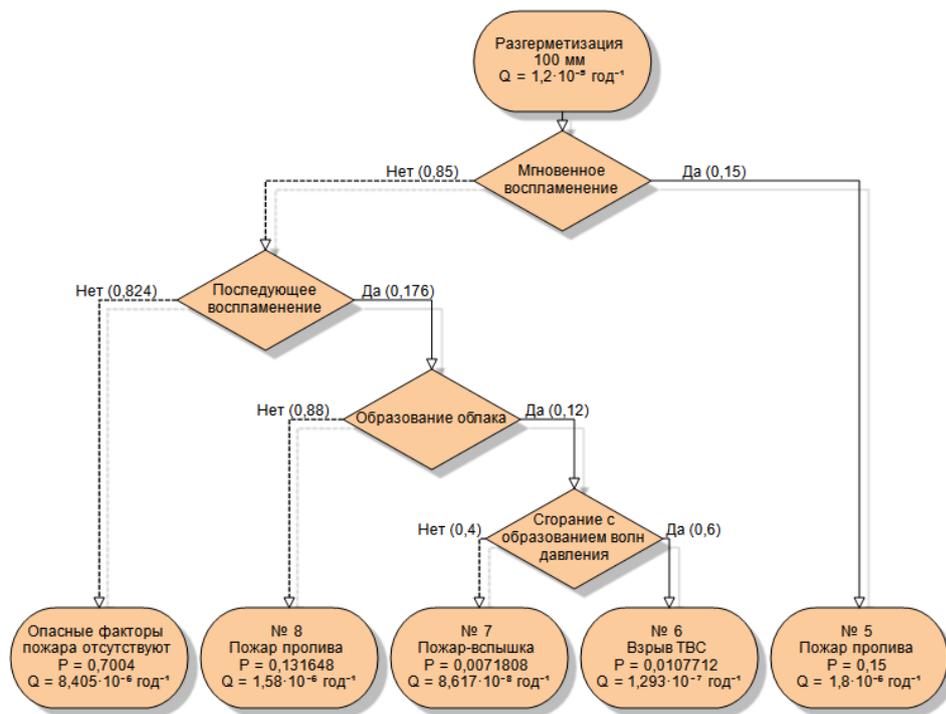


Рисунок 5 – Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разгерметизация 100 мм»

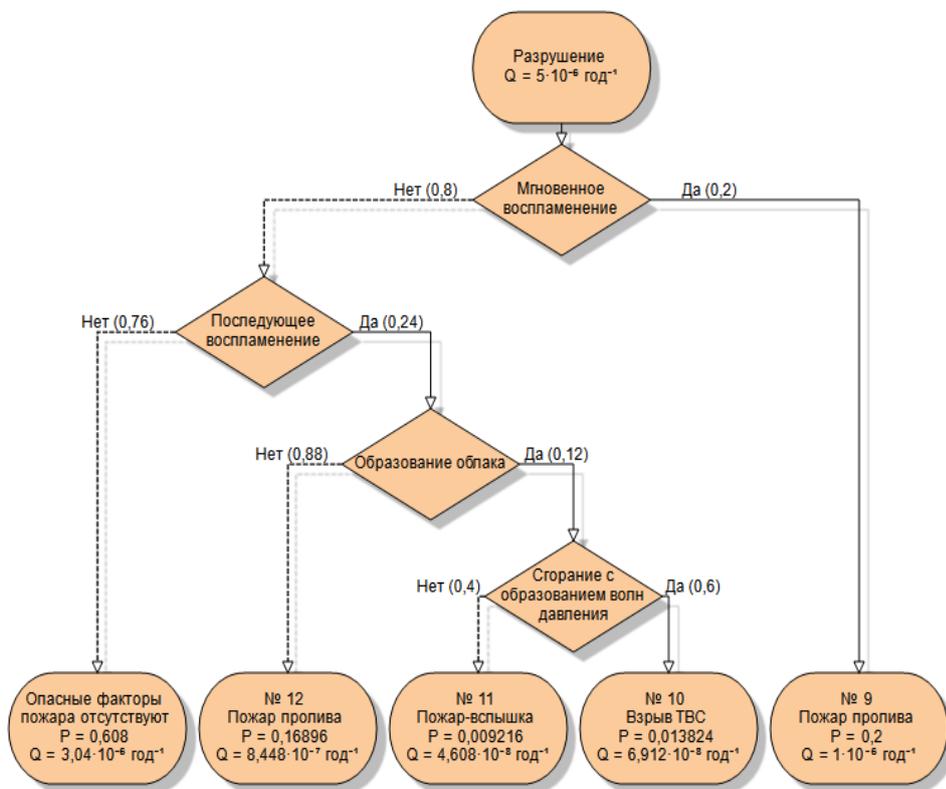


Рисунок 6 – Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разрушение»

Если риск окажется сверхнормативным, необходимо будет разрабатывать дополнительные противопожарные мероприятия по снижению его величины.

Объемный расход истечения жидкости определяется по формуле 1:

$$Q_{\text{ж}} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} \quad (1)$$

где  $\mu$  – «коэффициент истечения;

$d$  – диаметр разгерметизации, мм.

$H_{\text{ж}}$  – величина разгерметизации, мм» [4].

$$\begin{aligned} Q_{\text{ж}} &= \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 10,9} \\ &= 0,005 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Массовый расход истечения жидкости определяется по формуле 2:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \quad (2)$$

где  $Q_{\text{ж}}$  – «объемный расход истечения жидкости, м<sup>3</sup>/с.

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>» [4].

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,005 \cdot 745 = 3,744 \text{ кг/с}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{\text{ж}} = 0,005 \cdot 3600 = 0,005 \cdot 3600 = 18,09 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости определяется по формуле 3:

$$F_{\text{п}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} \quad (3)$$

где  $f_{\text{р}}$  – «коэффициент разлития, м(-1)

$V_{\text{ж}}$  – объем вылившейся жидкости, м<sup>3</sup>» [4].

$$F_{\Pi} = f_p \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 18,09 = 361,8 \text{ м}^2.$$

Поверхность пролива ограничивается обвалованием. Площадь пролива составляет 361,8 м<sup>2</sup>. Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 18,09 \cdot 745 = 13476,9 \text{ кг.}$$

Давление насыщенных паров определяется по формуле 4:

$$P_{\text{H}} = 10^{\left(A - \frac{B}{t + Ca}\right)} \quad (4)$$

где А – константа Антуана;

В – константа Антуана;

t – температура, °С;

Са – константа Антуана.

$$P_{\text{H}} = 10^{\left(4,26511 - \frac{695,019}{37 + 223,22}\right)} = 39,284 \text{ кПа.}$$

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{H}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95,3} \cdot 39,284 = 3,835 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров определяется по формуле 5:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{H}} \quad (5)$$

где М – «молярная масса, кг/кмоль;

Рн – давление насыщенных паров» [4].

$$m_{\Pi} = W \cdot F_{\Pi} \cdot 3600 = 3,835 \cdot 10^{-4} \cdot 361,8 \cdot 3600 = 499,5 \text{ кг.}$$

Объемный расход истечения жидкости определяется по формуле 1:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ж}} &= \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 10,9} \\ &= 0,0804 \text{ м}^3/\text{с.} \end{aligned}$$

Обстановка на месте аварийной ситуации представлена на рисунке 7.

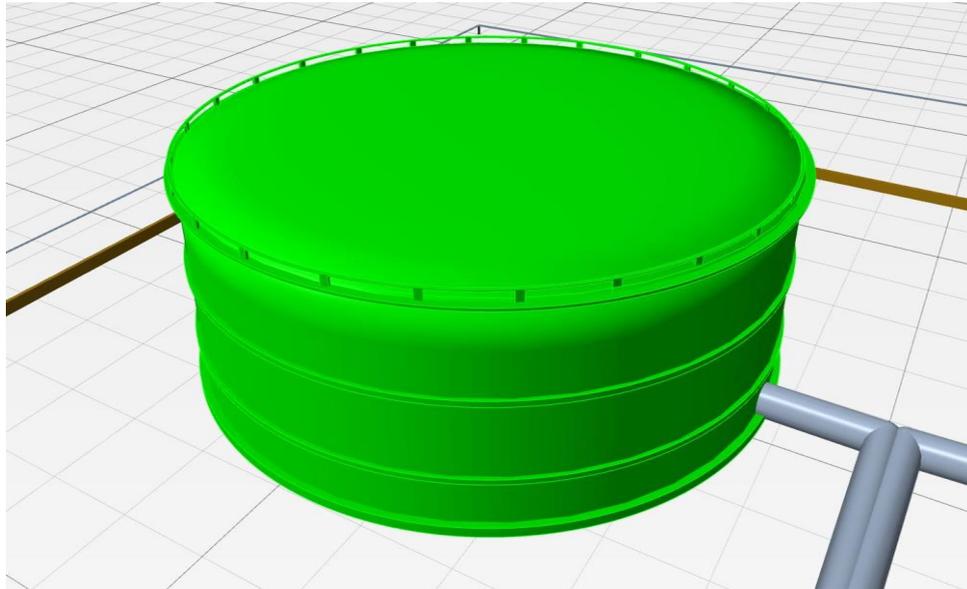


Рисунок 7 – Обстановка на месте аварийной ситуации при разгерметизации  
25 мм

Массовый расход истечения жидкости определяется по формуле 2:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0804 \cdot 745 = 59,897 \text{ кг/с.}$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{\text{ж}} = 0,0804 \cdot 3600 = 289,436 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости определяется по формуле 3:

$$F_{\text{П}} = f_{\text{П}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 289,436 = 5788,7 \text{ м}^2.$$

Поверхность пролива ограничивается обвалованием. Площадь пролива составляет 5788,7 м<sup>2</sup>. Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 289,436 \cdot 745 = 215630,1 \text{ кг.}$$

Давление насыщенных паров определяется по формуле 4:

$$P_{\text{Н}} = 10^{\left(A - \frac{B}{t+Ca}\right)} = 10^{\left(4,26511 - \frac{695,019}{37+223,22}\right)} = 39,284 \text{ кПа.}$$

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{Н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95,3} \cdot 39,284 = 3,835 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров определяется по формуле 6:

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{п}} \quad (6)$$

где  $W$  – «интенсивность испарения с поверхности пролива, кг/(с·м<sup>2</sup>);

$F_{\text{п}}$  – максимальная площадь пролива, м<sup>2</sup>» [4].

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{п}} \cdot 3600 = 3,835 \cdot 10^{-4} \cdot 5788,7 \cdot 3600 = 7991,9 \text{ кг.}$$

Обстановка на месте аварийной ситуации представлена на рисунке 8.

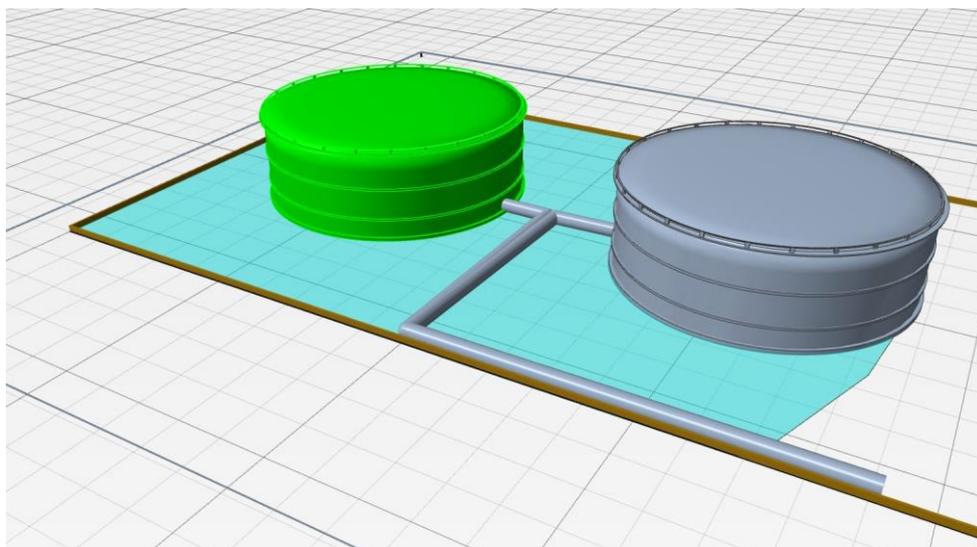


Рисунок 8 – Обстановка на месте аварийной ситуации при разгерметизации 100 мм

Объем вылившейся жидкости принимается равным объему емкости:

$$V_{\text{ж}} = 10000 \text{ м}^3.$$

Имеется обвалование высотой 0,8 м. При высоте столба жидкости 10,9 м и  $a/h_0 = 0,07$  доля жидкости, перелившейся через обвалование, составит 0,55.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{перелив.}} = V_{\text{ж}} \cdot 0,55 \cdot f_{\text{р}} = 10000 \text{ м}^3 \cdot 0,55 \cdot 20 = 110458,7 \text{ м}^2.$$

Площадь пролива составляет сумму площади обвалования и площади перелива:

$$F_{\text{П}} = F_{\text{обв.}} + F_{\text{перелив.}} = 7040 + 110458,7 = 117498,7 \text{ м}^2.$$

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 10000 \cdot 745 = 7450000 \text{ кг.}$$

Давление насыщенных паров при температуре 37 °С составляет:

$$P_{\text{Н}} = 10^{\left(A - \frac{B}{t + Ca}\right)} = 10^{\left(4,26511 - \frac{695,019}{37 + 223,22}\right)} = 39,284 \text{ кПа.}$$

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{Н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95,3} \cdot 39,284 = 3,835 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\text{П}} = W \cdot F_{\text{П}} \cdot 3600 = 3,835 \cdot 10^{-4} \cdot 117498,7 \cdot 3600 = 162219,1 \text{ кг.}$$

Обстановка на месте аварийной ситуации представлена на рисунке 9.

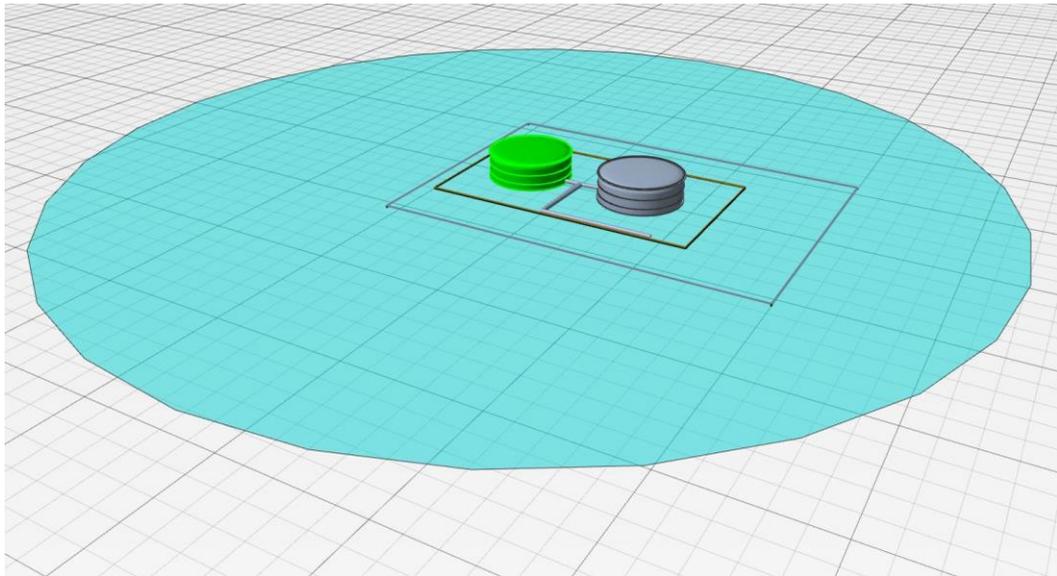


Рисунок 9 – Обстановка на месте аварийной ситуации при разрушении

Пожар на дыхательной арматуре. Площадь пожара на дыхательной арматуре принимается равной **5 м<sup>2</sup>**. Обстановка на месте пожара представлена на рисунке 10.

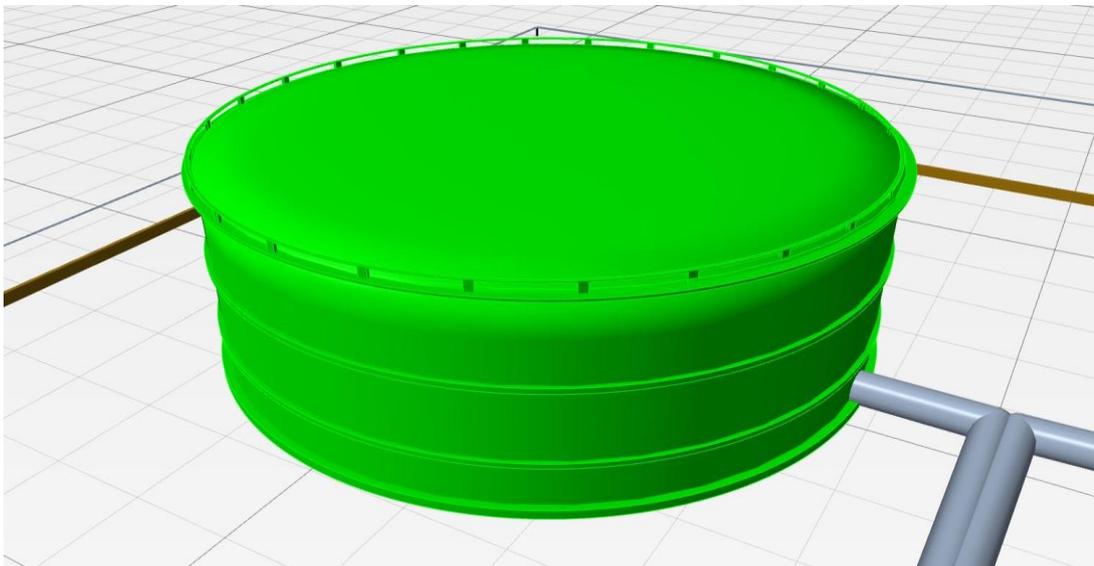


Рисунок 10 – Обстановка на месте на дыхательной арматуре

Пожар по всей поверхности. Площадь пожара принимается равной площади резервуара и составляет **918,6 м<sup>2</sup>**. Обстановка на месте пожара представлена на рисунке 11.

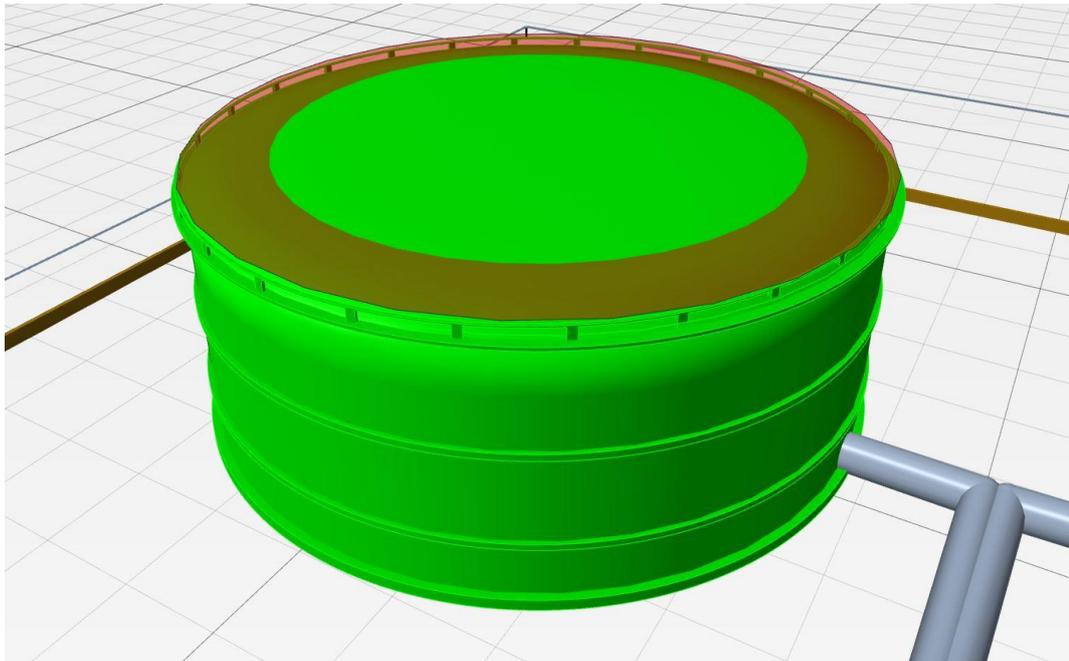


Рисунок 11 – Обстановка на месте пожара (по всей поверхности)

Разгерметизация 25 мм. Пожар пролива (сценарий 1, 4).

Сценарий 1. Условная вероятность возникновения:  $P = 0,035$ .

Частота возникновения определяется по формуле 7:

$$Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P \quad (7)$$

где  $Q_{\text{ав.с.}}$  – «частота возникновения, год<sup>-1</sup>»;

$P$  – условная вероятность возникновения» [4].

$$Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,035 = 3,08 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Сценарий 4.

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0,965 \cdot 0,036 \cdot 0,88 = 0,0305712.$$

Частота возникновения:

$$Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0305712 = 2,69 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Расчет теплового потока при штиле для точки, расположенной на расстоянии 7,6 м от края пролива.

Площадь пожара:  $F_{\Pi} = 361,8 \text{ м}^2$ .

Эффективный диаметр площади пожара определяется по формуле 8:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi}} \quad (8)$$

где  $F$  – площадь пролива,  $\text{м}^2$ .

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 361,8}{\pi}} = 21,5 \text{ м.}$$

Параметр  $u_*$  определяется по формуле 9:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} \quad (9)$$

где  $m'$  – «массовая скорость выгорания,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ;

$d$  – эффективный диаметр площади пожара,  $\text{м}^2$ » [4].

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{0}{\sqrt[3]{\frac{0,059 \cdot 9,81 \cdot 21,5}{3,196}}} = 0.$$

При  $u_* < 1$  принимается:  $\cos\theta = 1$ ;  $\sin\theta = 0$ .

Длина пламени определяется по формуле 10:

$$L = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} \quad (10)$$

где  $m'$  – «массовая скорость выгорания,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ;

$\rho_a$  – плотность окружающего воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$d$  – эффективный диаметр площади пожара,  $\text{м}^2$ » [4].

$$L = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 21,5 \cdot \left( \frac{0,059}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 21,5}} \right)^{0,61} = 29 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта определяется по формуле 11:

$$X = r + 0,5 \cdot d \quad (11)$$

где  $r$  – «расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

$d$  – эффективный диаметр площади пожара, м» [4].

$$X = r + 0,5 \cdot d = 7,6 + 0,5 \cdot 21,5 = 18,3 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 29}{21,5} = 2,7; \quad b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 18,3}{21,5} = 1,71;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{2,7^2 + (1,71 + 1)^2 - 2 \cdot 2,7 \cdot (1,71 + 1) \cdot 0} = 3,82;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{2,7^2 + (1,71 - 1)^2 - 2 \cdot 2,7 \cdot (1,71 - 1) \cdot 0} = 2,79;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,71^2 - 1) \cdot 1^2} = 1,71;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[ \frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -1,58 \cdot \arctan(0,51) + 1,58 \cdot \left[ \frac{2,7^2 + (1,71 + 1)^2 - 2 \cdot 1,71 \cdot (1 + 2,7 \cdot 0)}{3,82 \cdot 2,79} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{3,82 \cdot 0,51}{2,79} \right) + \frac{1}{1,71} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{2,7 \cdot 1,71 - 1,38^2 \cdot 0}{1,38 \cdot 1,71} \right) + \arctan \left( \frac{1,38^2 \cdot 0}{1,38 \cdot 1,71} \right) \right] \right\} = \\ = 0,29.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,51}\right) + \frac{0}{1,71} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{2,7 \cdot 1,71 - 1,38^2 \cdot 0}{1,38 \cdot 1,71}\right) + \arctan\left(\frac{1,38^2 \cdot 0}{1,38 \cdot 1,71}\right) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \left[ \frac{2,7^2 + (1,71 + 1)^2 - 2 \cdot 1,71 \cdot (1 + 2,7 \cdot 0)}{3,82 \cdot 2,79} \right] \cdot \arctan\left(\frac{3,82 \cdot 0,51}{2,79}\right) \right\} = \\
&= 0,182.
\end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,29^2 + 0,182^2} = 0,342.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\begin{aligned}
\tau &= \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (18,3 - 0,5 \cdot 21,5)) \\
&= 0,995.
\end{aligned}$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени при  $d = 21,5$  м составляет 45,2 кВт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность теплового излучения определяется по формуле 12:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \quad (12)$$

где  $E_f$  – «среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>

$F_q$  – угловой коэффициент облученности;

$\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы» [4].

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 45,2 \cdot 0,342 \cdot 0,995 = 15,4 \text{ кВт/м}^2.$$

Расчет теплового потока при ветре 25 м/с.

Площадь пожара:  $F_{\Pi} = 361,8 \text{ м}^2$ .

Эффективный диаметр площади пожара:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 361,8}{\pi}} = 21,5 \text{ м.}$$

Параметр  $u_*$ :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{25}{\sqrt[3]{\frac{0,059 \cdot 9,81 \cdot 21,5}{3,196}}} = 15,91.$$

При  $u_* \geq 1$  принимается:

$$\cos\theta = u_*^{-0,5} = 15,91^{-0,5} = 0,251;$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0,251^2} = 0,968.$$

Длина пламени:

$$\begin{aligned} L &= 55 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} \\ &= 55 \cdot 21,5 \cdot \left( \frac{0,059}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 21,5}} \right)^{0,67} \cdot 15,91^{0,21} = 48,4 \text{ м.} \end{aligned}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 62,2 + 0,5 \cdot 21,5 = 72,9 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 48,4}{21,5} = 4,51; \quad b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 72,9}{21,5} = 6,8;$$

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \\ &= \sqrt{4,51^2 + (6,8 + 1)^2 - 2 \cdot 4,51 \cdot (6,8 + 1) \cdot 0,968} = 3,61; \end{aligned}$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} =$$

$$= \sqrt{4,51^2 + (6,8 - 1)^2 - 2 \cdot 4,51 \cdot (6,8 - 1) \cdot 0,968} = 1,82;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta} = \sqrt{1 + (6,8^2 - 1) \cdot 0,251^2} = 1,96;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{\square^2 \cdot \sin \square}{\square \cdot \square} \right) \right] \right\} = \\ = \frac{1}{\square} \cdot \left\{ -0,46 \cdot \arctan(0,86) + 0,46 \cdot \left[ \frac{4,51^2 + (6,8 + 1)^2 - 2 \cdot 6,8 \cdot (1 + 4,51 \cdot 0,968)}{3,61 \cdot 1,82} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{3,61 \cdot 0,86}{1,82} \right) + \frac{0,251}{1,96} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{4,51 \cdot 6,8 - 6,72^2 \cdot 0,968}{6,72 \cdot 1,96} \right) + \arctan \left( \frac{6,72^2 \cdot 0,968}{6,72 \cdot 1,96} \right) \right] \right\} = \\ = 0,106.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left( \frac{1}{0,86} \right) + \frac{0,968}{1,96} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{4,51 \cdot 6,8 - 6,72^2 \cdot 0,968}{6,72 \cdot 1,96} \right) + \arctan \left( \frac{6,72^2 \cdot 0,968}{6,72 \cdot 1,96} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[ \frac{4,51^2 + (6,8 + 1)^2 - 2 \cdot 6,8 \cdot (1 + 4,51 \cdot 0,968)}{3,61 \cdot 1,82} \right] \cdot \arctan \left( \frac{3,61 \cdot 0,86}{1,82} \right) \right\} = \\ = 0,404.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,106^2 + 0,404^2} = 0,418.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (72,9 - 0,5 \cdot 21,5)) \\ = 0,957.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени при  $d = 21,5$  м составляет  $45,2$  кВт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность теплового излучения:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 45,2 \cdot 0,418 \cdot 0,957 = 18,12 \text{ кВт/м}^2.$$

Поле величин теплового потока изображено на рисунке 12.

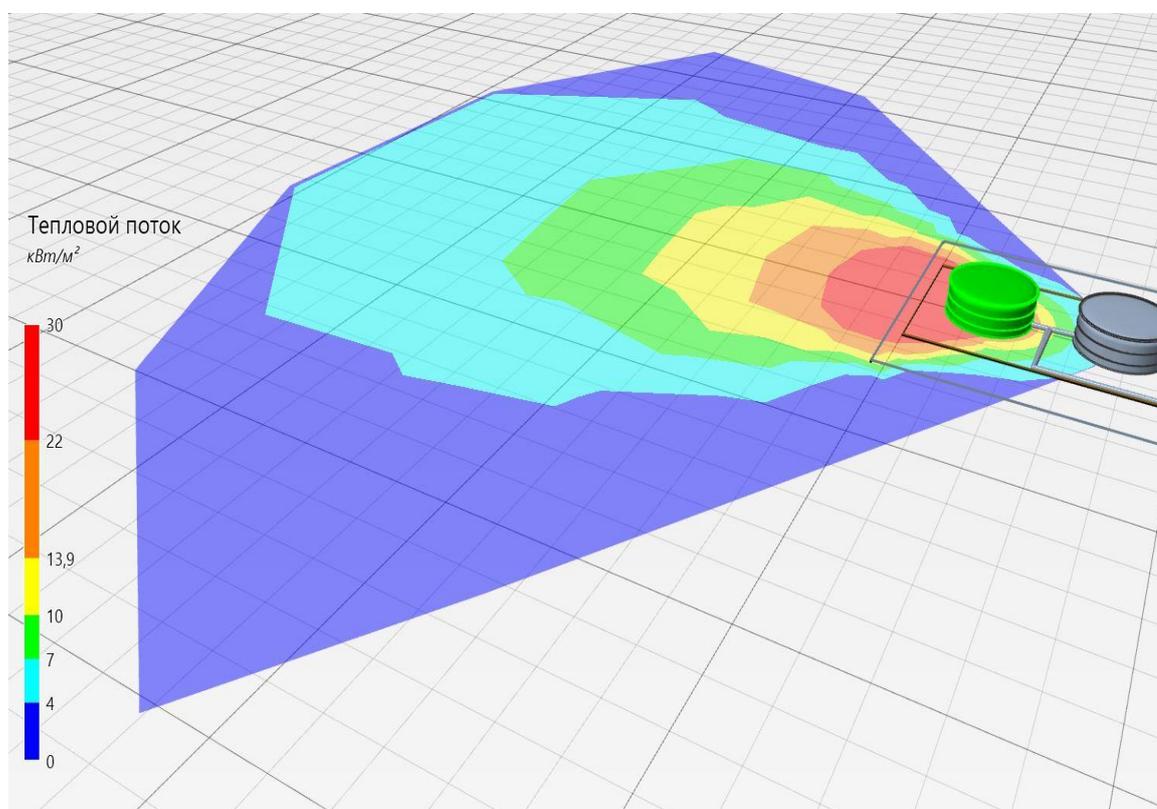


Рисунок 12 – Поле величин теплового потока

На графике рисунка 13 ниже представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.

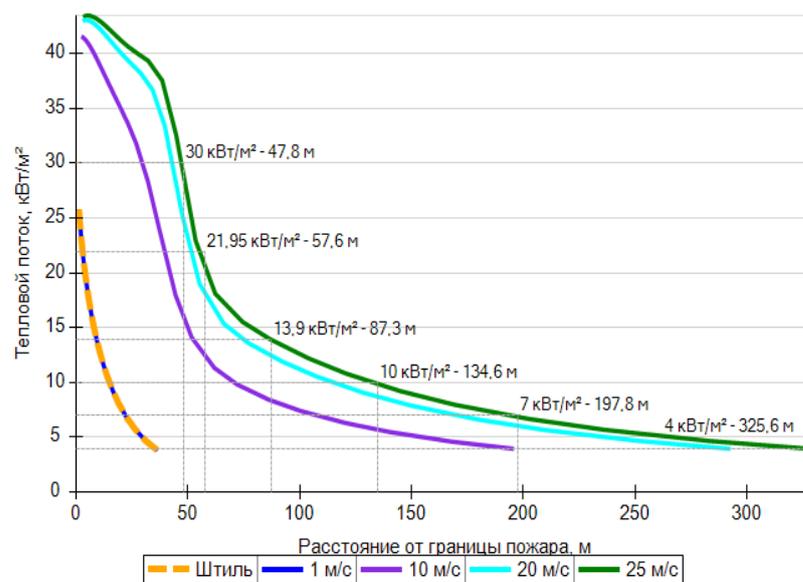


Рисунок 13 – Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Примечание: здесь и далее график теплового потока приведен без учета защиты экранами и стенами зданий.

Взрыв ТВС (сценарий 2)

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0,965 \cdot 0,036 \cdot 0,12 \cdot 0,24 = 0,00100051.$$

Частота возникновения:

$$Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,00100051 = 8,805 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Удельное энерговыделение определяется по формуле 13:

$$E_{уд} = E_{уд0} \cdot \beta \tag{13}$$

где  $E_{уд0}$  – «удельная теплота сгорания типичных углеводородов;

$\beta$  – корректировочный параметр» [4].

$$E_{уд} = E_{уд0} \cdot \beta = 44 \cdot 1 = 44 \text{ МДж}.$$

Масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени определяется по формуле 14:

$$M_T = m_{\text{п}} \cdot Z \quad (14)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса горючего вещества, кг.

$$M_T = m_{\text{п}} \cdot Z = 499,5 \cdot 0,1 = 49,95 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{\text{уд}} = 49,95 \cdot 44 = 2197,78 \text{ МДж.}$$

При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается:

$$E = 2197,78 \cdot 2 = 4395,57 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 499,5^{1/6} = 121,1 \text{ м/с.}$$

Расстояние определяется по формуле 15:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} \quad (15)$$

где  $R$  – «расстояние от центра облака, м;

$P_0$  – атмосферное давление, Па;

$E$  – эффективный энергозапас смеси, Дж» [4].

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{33}{(4395,57 \cdot 10^6 / 101300)^{1/3}} = 0,94.$$

Избыточное давление взрыва определяется по формуле 16:

$$\Delta P = \left(\frac{u^2}{c_0^2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right) \cdot P_0 \quad (16)$$

где  $\sigma$  – «степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей допускается принимать 7);

$u$  – видимая скорость фронта пламени, м/с;

$c_0$  – скорость звука м/с» [4].

$$\Delta P = \left(\frac{200^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{0,94} - \frac{0,14}{0,94^2}\right) \cdot 101300 = 2,181 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Безразмерный импульс:

$$I_{x1} = 0,504 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,504) \cdot \left(\frac{0,06}{0,94} + \frac{0,01}{0,94^2} - \frac{0,0025}{0,94^3}\right) = 0,029;$$

Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{c_0} = \frac{0,029 \cdot 101300^{2/3} \cdot (4395,57 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 304,7 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия (рисунок 11 и 12).

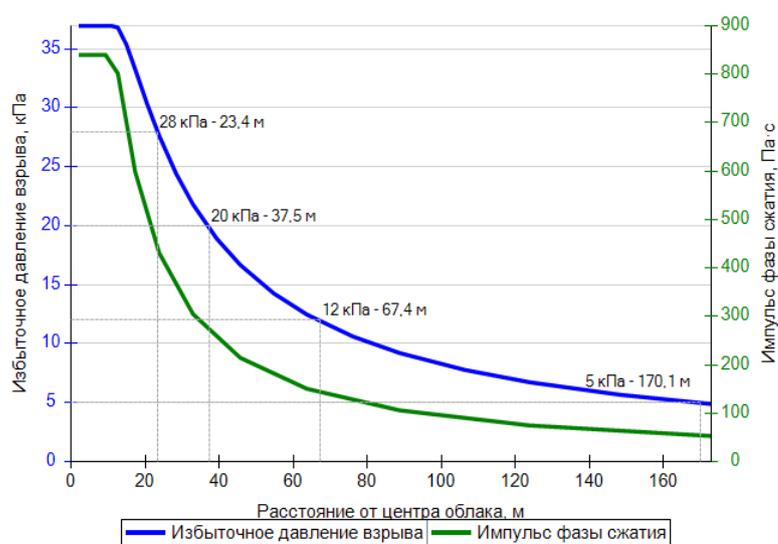


Рисунок 14 – Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия

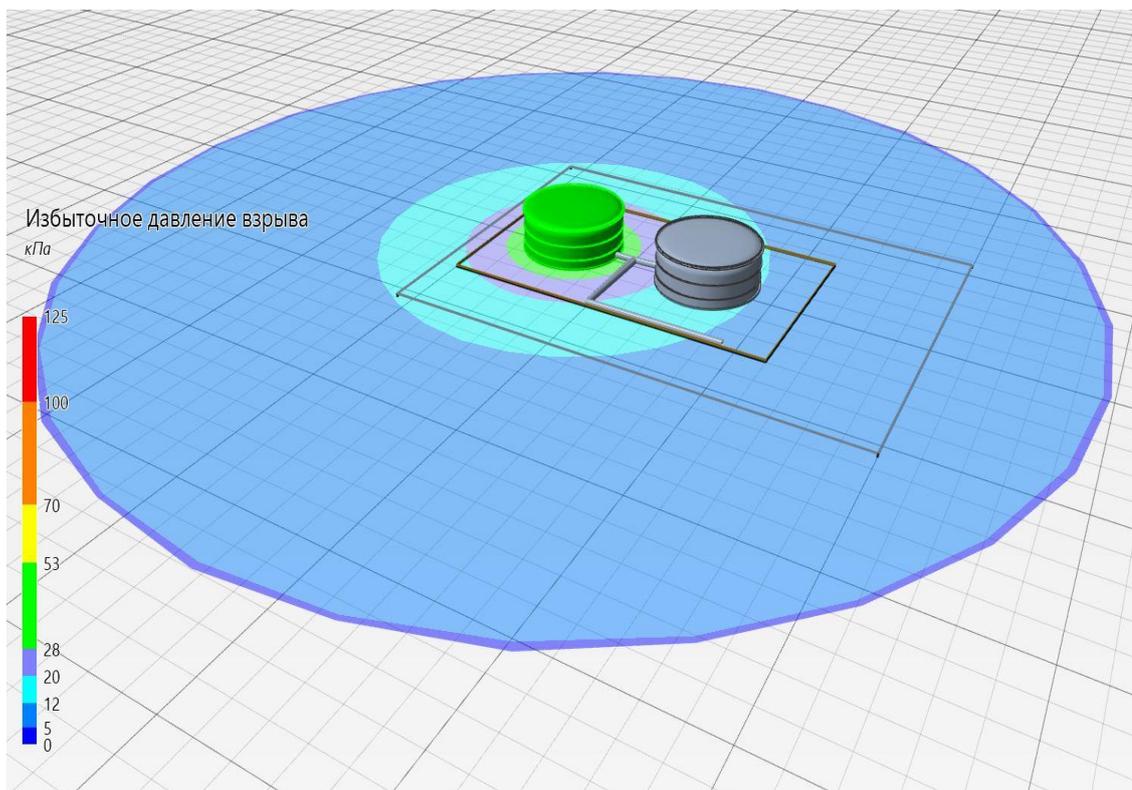


Рисунок 14 – Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка (сценарий 3). Условная вероятность возникновения:

$$P = 0,965 \cdot 0,036 \cdot 0,12 \cdot 0,76 = 0,00316829.$$

Частота возникновения:  $2,788 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .

Плотность паров ЛВЖ составляет  $\rho_{\text{п}} = 3,744 \text{ кг/м}^3$ .

Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее – НКПР) определяется по формуле 17:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left( \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (17)$$

где  $m$  – «масса вещества поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;

$\rho$  – плотность горючего газа при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{НКПР}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени, % об» [4].

$$R_{НКПР} = 7,8 \cdot \left( \frac{m_{п}}{\rho_{п} \cdot C_{НКПР}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left( \frac{499,5}{3,744 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 38 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{НКПР} = 0,26 \cdot \left( \frac{m_{п}}{\rho_{п} \cdot C_{НКПР}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left( \frac{499,5}{3,744 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 1,27 \text{ м.}$$

Размеры взрывоопасной зоны представлены на рисунке 15 и 16.

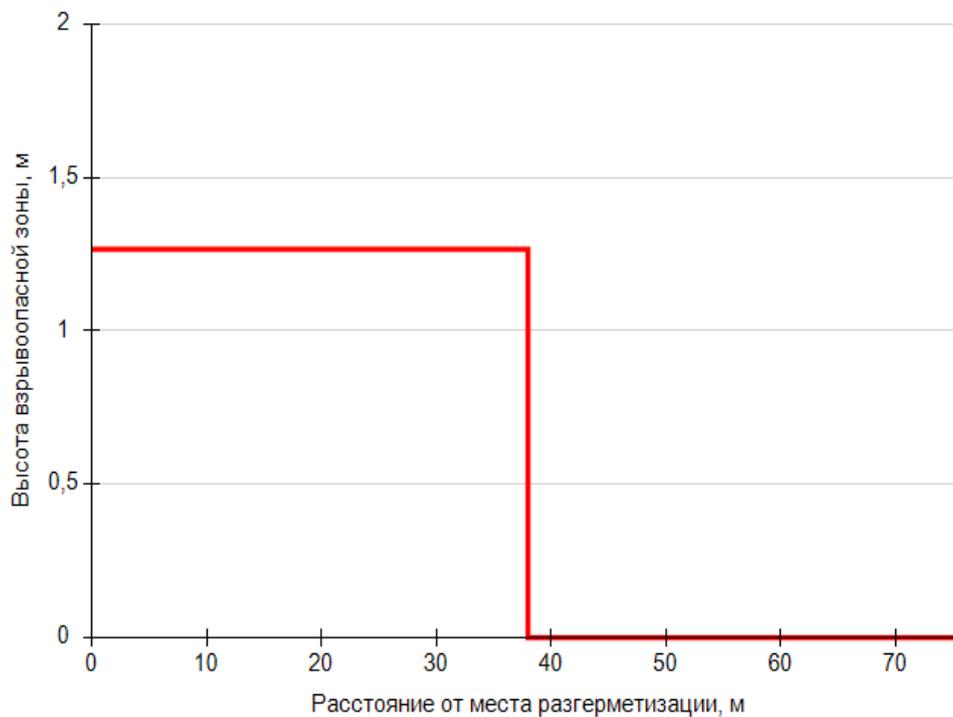


Рисунок 15 – Размеры взрывоопасной зоны

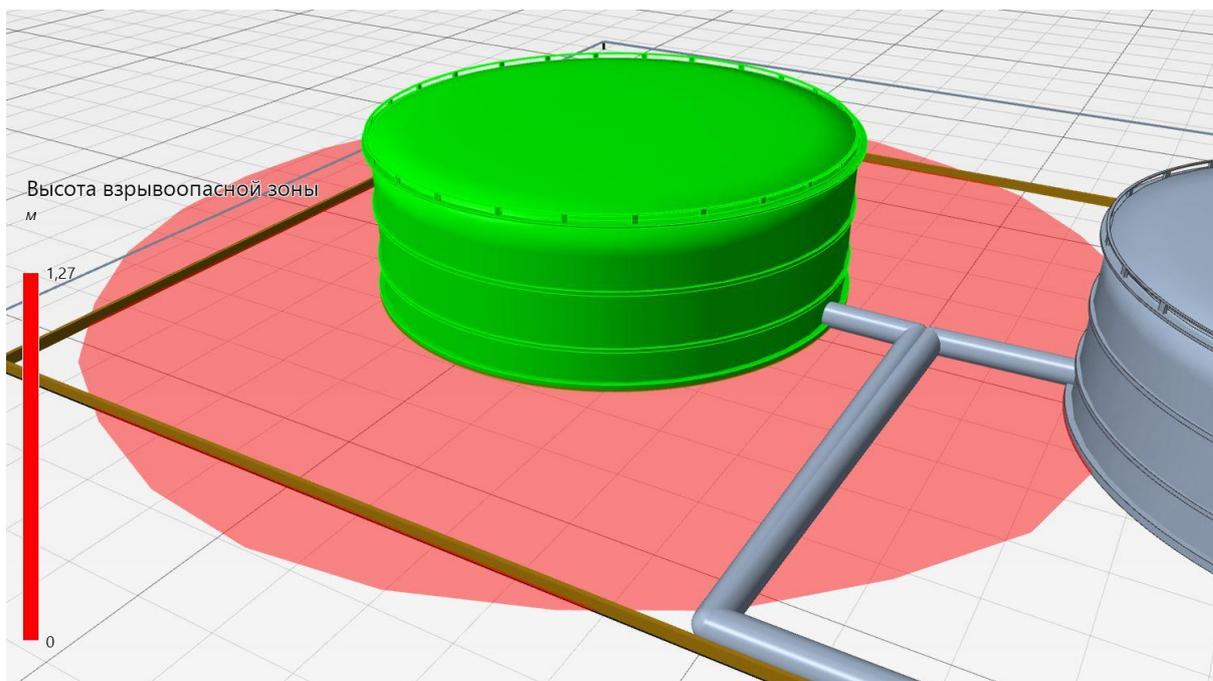


Рисунок 16 – Расположение взрывоопасной зоны

Разгерметизация 100 мм. Пожар пролива (сценарий 5, 8).

Сценарий 5. Условная вероятность возникновения:  $P = 0,15$ . Частота возникновения:  $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .

Сценарий 8. Условная вероятность возникновения: 0,131648. Частота возникновения:  $1,58 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .

Расчет теплового потока при штиле.

Площадь пожара:  $F_{\Pi} = 5788,7 \text{ м}^2$ .

Эффективный диаметр площади пожара:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5788,7}{\pi}} = 85,9 \text{ м.}$$

Параметр  $u_*$ :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{0}{\sqrt[3]{\frac{0,059 \cdot 9,81 \cdot 85,9}{3,196}}} = 0.$$

При  $u_* < 1$  принимается:  $\cos\theta = 1$ ;  $\sin\theta = 0$ .

Длина пламени:

$$L = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 85,9 \cdot \left( \frac{0,059}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 85,9}} \right)^{0,61} = 75,9 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 14 + 0,5 \cdot 85,9 = 56,9 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 75,9}{85,9} = 1,77; \quad b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 56,9}{85,9} = 1,33;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{1,77^2 + (1,33 + 1)^2 - 2 \cdot 1,77 \cdot (1,33 + 1) \cdot 0} = 2,92;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{1,77^2 + (1,33 - 1)^2 - 2 \cdot 1,77 \cdot (1,33 - 1) \cdot 0} = 1,8;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,33^2 - 1) \cdot 1^2} = 1,33;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[ \frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -1,33 \cdot \arctan(0,37) + 1,33 \cdot \left[ \frac{1,77^2 + (1,33 + 1)^2 - 2 \cdot 1,33 \cdot (1 + 1,77 \cdot 0)}{2,92 \cdot 1,8} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{2,92 \cdot 0,37}{1,8} \right) + \frac{1}{1,33} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{1,77 \cdot 1,33 - 0,87^2 \cdot 0}{0,87 \cdot 1,33} \right) + \arctan \left( \frac{0,87^2 \cdot 0}{0,87 \cdot 1,33} \right) \right] \right\} = \\ = 0,375.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,37}\right) + \frac{0}{1,33} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{1,77 \cdot 1,33 - 0,87^2 \cdot 0}{0,87 \cdot 1,33}\right) + \arctan\left(\frac{0,87^2 \cdot 0}{0,87 \cdot 1,33}\right) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \left[ \frac{1,77^2 + (1,33 + 1)^2 - 2 \cdot 1,33 \cdot (1 + 1,77 \cdot 0)}{2,92 \cdot 1,8} \right] \cdot \arctan\left(\frac{2,92 \cdot 0,37}{1,8}\right) \right\} = \\
&\quad = 0,258.
\end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,375^2 + 0,258^2} = 0,455.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\begin{aligned}
\tau &= \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (56,9 - 0,5 \cdot 85,9)) \\
&= 0,99.
\end{aligned}$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени принимается при  $d = 85,9$  м составляет 25 кВт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность теплового излучения:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0,455 \cdot 0,99 = 11,27 \text{ кВт/м}^2.$$

Расчет теплового потока при ветре 25 м/с.

Площадь пожара:  $F_{\Pi} = 5788,7$  м<sup>2</sup>. Эффективный диаметр площади пожара:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5788,7}{\pi}} = 85,9 \text{ м.}$$

Параметр  $u_*$ :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{II}}}} = \frac{25}{\sqrt[3]{\frac{0,059 \cdot 9,81 \cdot 85,9}{3,196}}} = 10,03.$$

При  $u_* \geq 1$  принимается:

$$\cos\theta = u_*^{-0,5} = 10,03^{-0,5} = 0,316;$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0,316^2} = 0,949.$$

Длина пламени:

$$\begin{aligned} L &= 55 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} \\ &= 55 \cdot 85,9 \cdot \left( \frac{0,059}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 85,9}} \right)^{0,67} \cdot 10,03^{0,21} = 110,4 \text{ м.} \end{aligned}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 85,4 + 0,5 \cdot 85,9 = 128,4 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 110,4}{85,9} = 2,57; \quad b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 128,4}{85,9} = 2,99;$$

$$A = \sqrt{2,57^2 + (2,99 + 1)^2 - 2 \cdot 2,57 \cdot (2,99 + 1) \cdot 0,949} = 1,75;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} =$$

$$= \sqrt{2,57^2 + (2,99 - 1)^2 - 2 \cdot 2,57 \cdot (2,99 - 1) \cdot 0,949} = 0,93;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (2,99^2 - 1) \cdot 0,316^2} = 1,34;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_V &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \left. \right\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -1,47 \cdot \arctan(0,71) + 1,47 \cdot \left[ \frac{2,57^2 + (2,99 + 1)^2 - 2 \cdot 2,99 \cdot (1 + 2,57 \cdot 0,949)}{1,75 \cdot 0,93} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left( \frac{1,75 \cdot 0,71}{0,93} \right) + \frac{0,316}{1,34} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{2,57 \cdot 2,99 - 2,82^2 \cdot 0,949}{2,82 \cdot 1,34} \right) + \arctan \left( \frac{2,82^2 \cdot 0,949}{2,82 \cdot 1,34} \right) \right] \left. \right\} = \\
&= 0,323.
\end{aligned}$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\
&- \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) \left. \right\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left( \frac{1}{0,71} \right) + \frac{0,949}{1,34} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{2,57 \cdot 2,99 - 2,82^2 \cdot 0,949}{2,82 \cdot 1,34} \right) + \arctan \left( \frac{2,82^2 \cdot 0,949}{2,82 \cdot 1,34} \right) \right] - \right. \\
&- \left[ \frac{2,57^2 + (2,99 + 1)^2 - 2 \cdot 2,99 \cdot (1 + 2,57 \cdot 0,949)}{1,75 \cdot 0,93} \right] \cdot \arctan \left( \frac{1,75 \cdot 0,71}{0,93} \right) \left. \right\} = \\
&= 0,876.
\end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,323^2 + 0,876^2} = 0,934.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\begin{aligned}
\tau &= \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (128,4 - 0,5 \cdot 85,9)) \\
&= 0,942.
\end{aligned}$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени принимается при  $d = 85,9$  м составляет 25 кВт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность теплового излучения:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0,934 \cdot 0,942 = 21,98 \text{ кВт/м}^2.$$

Поле величин теплового потока представлено на рисунке 17.

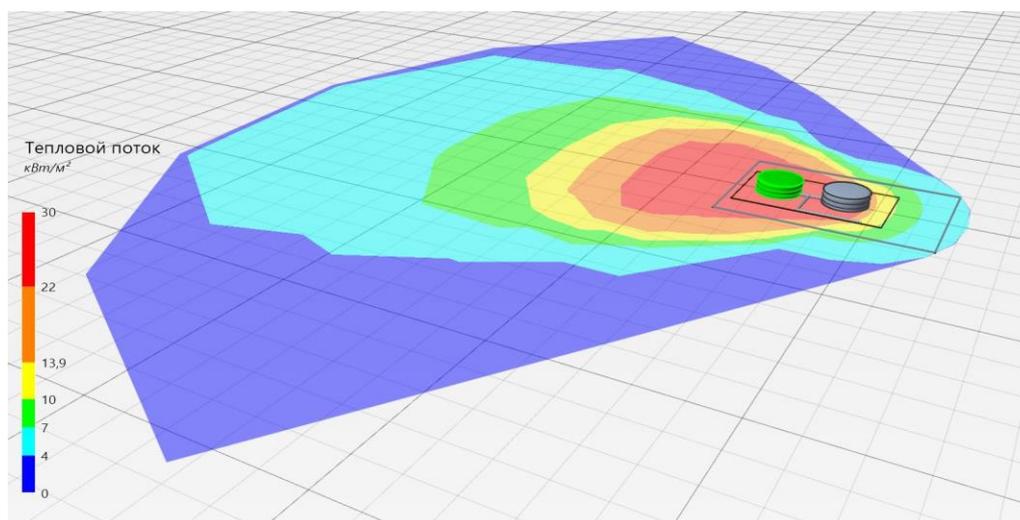


Рисунок 17 – Поле величин теплового потока

На графике рисунка 18 представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.

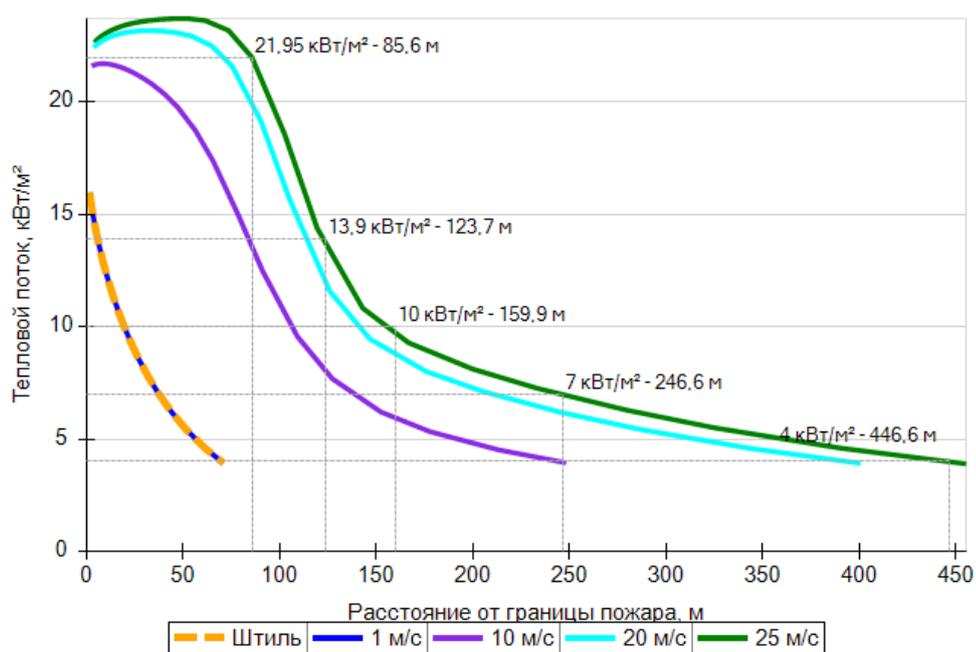


Рисунок 18 – Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС (сценарий 6). Условная вероятность возникновения **0,0107712**. Частота возникновения:  **$1,293 \cdot 10^{-7}$**  год<sup>-1</sup>.

Удельное энерговыделение:

$$E_{\text{уд}} = E_{\text{уд}0} \cdot \beta = 44 \cdot 1 = 44 \text{ МДж.}$$

Масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени:

$$M_{\text{T}} = m_{\text{п}} \cdot Z = 7991,9 \cdot 0,1 = 799,194 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_{\text{T}} \cdot E_{\text{уд}} = 799,194 \cdot 44 = 35164,53 \text{ МДж.}$$

При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается:

$$E = 35164,53 \cdot 2 = 70329,05 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 7991,9^{1/6} = 192,3 \text{ м/с.}$$

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{80,6}{(70329,05 \cdot 10^6 / 101300)^{1/3}} = 0,91.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\Delta P = \left(\frac{200^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{0,91} - \frac{0,14}{0,91^2}\right) \cdot 101300 = 2,232 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Безразмерный импульс:

$$I_{x1} = 0,504 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,504) \cdot \left(\frac{0,06}{0,91} + \frac{0,01}{0,91^2} - \frac{0,0025}{0,91^3}\right) = 0,03;$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{200}{340} \cdot \frac{7-1}{7} = 0,504.$$

Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,03 \cdot 101300^{2/3} \cdot (70329,05 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 792,9 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия (рисунок 19 и 20).

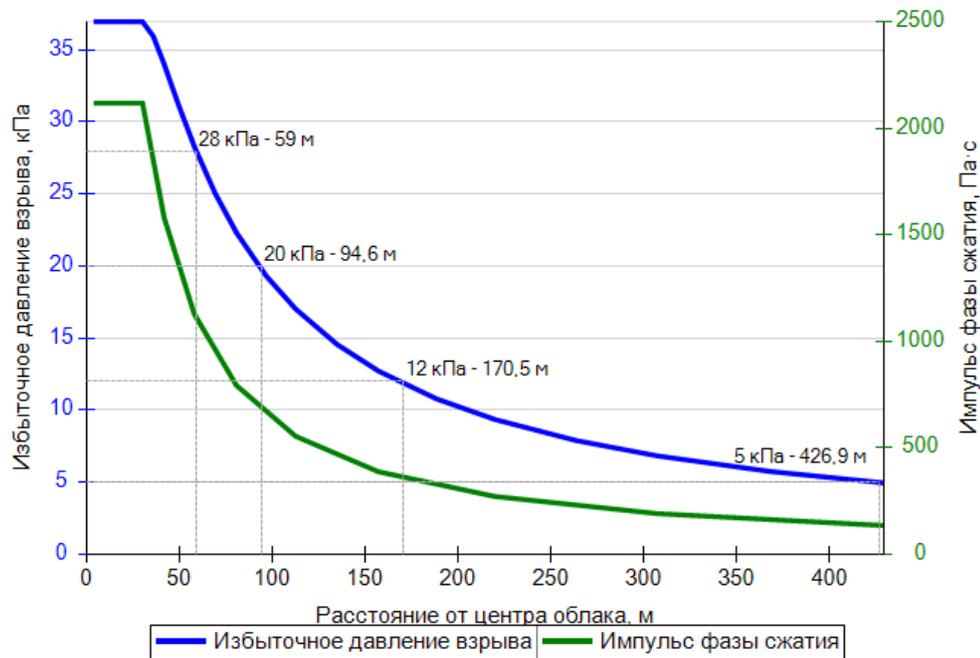


Рисунок 19 – Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия

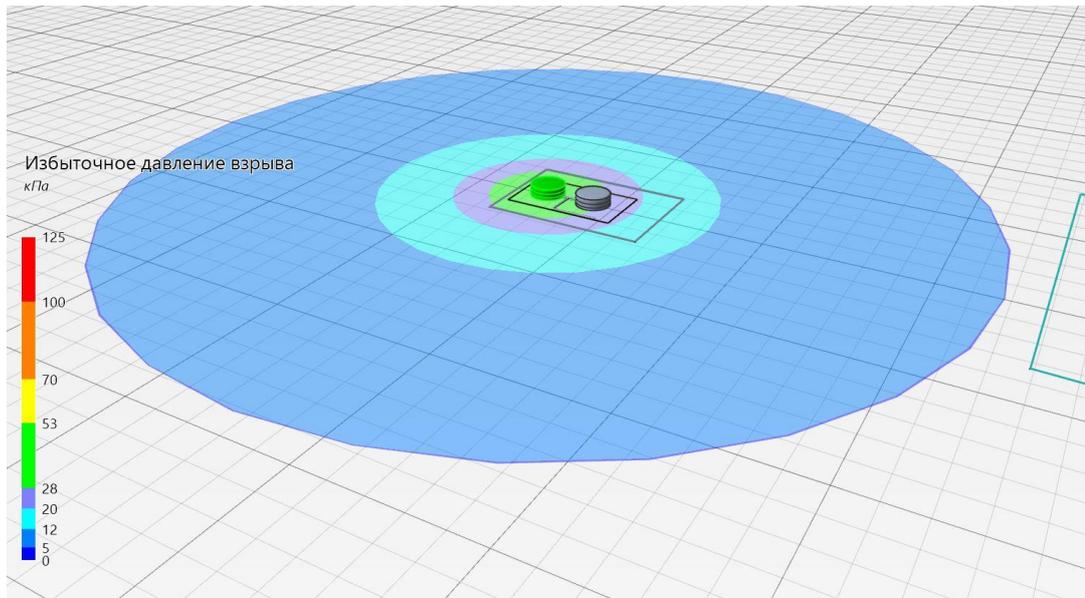


Рисунок 20 – Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка (сценарий 7). Условная вероятность возникновения: **0,0071808**. Частота возникновения:  **$8,617 \cdot 10^{-8}$**  год<sup>-1</sup>.

Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 37 °С составляет  $\rho_{\text{п}} = 3,744$  кг/м<sup>3</sup>.

Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее - НКПР), составляет:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left( \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left( \frac{7991,9}{3,744 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 94,9 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left( \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left( \frac{7991,9}{3,744 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 3,16 \text{ м.}$$

Размеры и расположение взрывоопасной зоны изображены на рисунках 21 и 22.

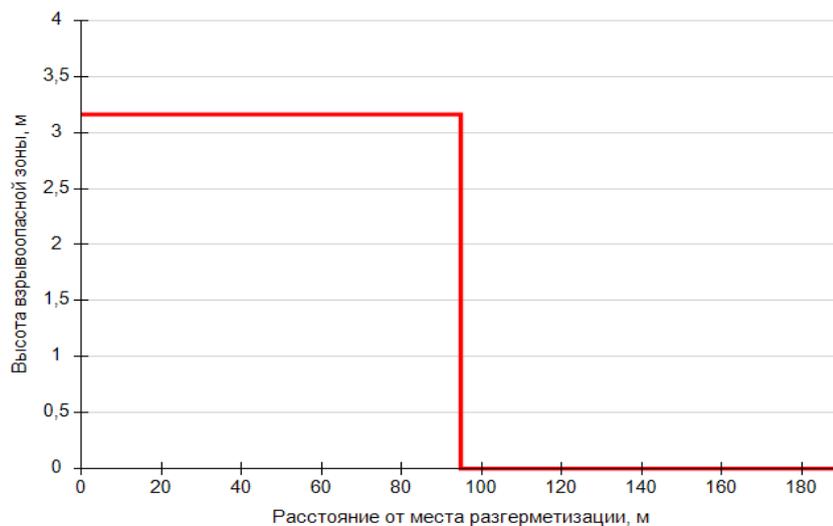


Рисунок 21 – Размеры взрывоопасной зоны

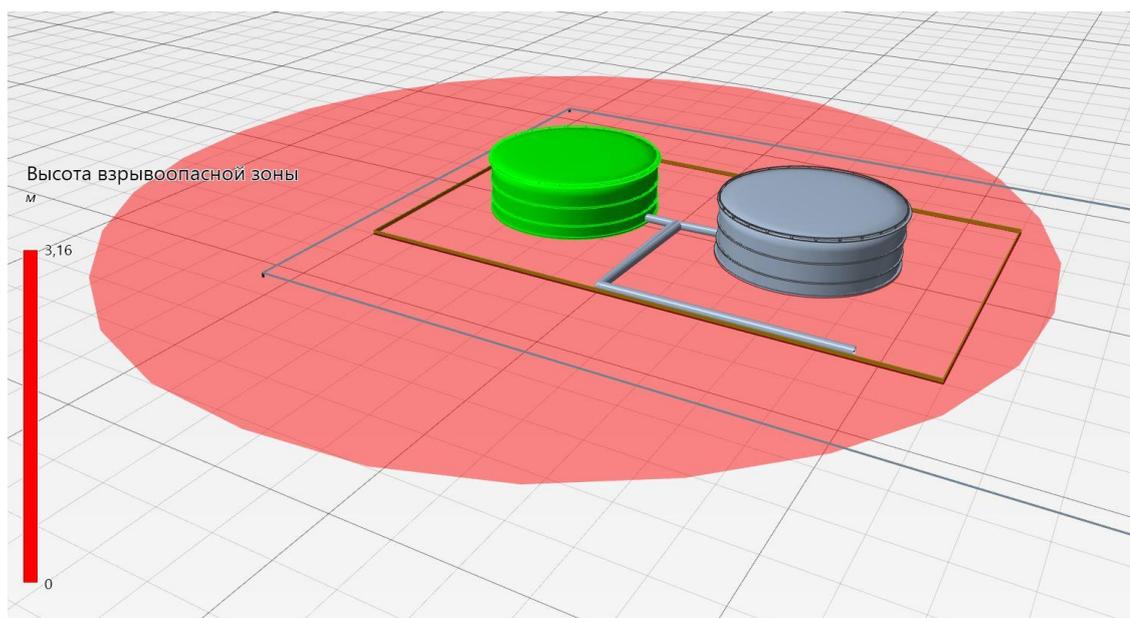


Рисунок 22 – Расположение взрывоопасной зоны

Разрушение. Пожар пролива (сценарий 9, 12).

Сценарий 9. Условная вероятность возникновения:  $P = 0,2$ . Частота возникновения:  $1 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>.

Сценарий 12. Условная вероятность возникновения: 0,16896. Частота возникновения:  $8,448 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .

Расчет теплового потока при штиле.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 43,3 м от края пролива (края площади пожара).

Площадь пожара:  $F_{\Pi} = 117498,7 \text{ м}^2$ .

Эффективный диаметр площади пожара:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 117498,7}{\pi}} = 386,8 \text{ м.}$$

Параметр  $u_*$ :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{0}{\sqrt[3]{\frac{0,059 \cdot 9,81 \cdot 386,8}{3,196}}} = 0.$$

При  $u_* < 1$  принимается:  $\cos\theta = 1$ ;  $\sin\theta = 0$ .

Длина пламени:

$$L = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 386,8 \cdot \left( \frac{0,059}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 386,8}} \right)^{0,61} \\ = 216,2 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 43,3 + 0,5 \cdot 386,8 = 236,7 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 216,2}{386,8} = 1,12; \quad b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 236,7}{386,8} = 1,22;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{1,12^2 + (1,22 + 1)^2 - 2 \cdot 1,12 \cdot (1,22 + 1) \cdot 0} = 2,49;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{1,12^2 + (1,22 - 1)^2 - 2 \cdot 1,12 \cdot (1,22 - 1) \cdot 0} = 1,14;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,22^2 - 1) \cdot 1^2} = 1,22;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[ \frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -0,91 \cdot \arctan(0,32) + 0,91 \cdot \left[ \frac{1,12^2 + (1,22 + 1)^2 - 2 \cdot 1,22 \cdot (1 + 1,12 \cdot 0)}{2,49 \cdot 1,14} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left( \frac{2,49 \cdot 0,32}{1,14} \right) + \frac{1}{1,22} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{1,12 \cdot 1,22 - 0,71^2 \cdot 0}{0,71 \cdot 1,22} \right) + \arctan \left( \frac{0,71^2 \cdot 0}{0,71 \cdot 1,22} \right) \right] \right\} = \\ = 0,405.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[ \frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left( \frac{1}{0,32} \right) + \frac{0}{1,22} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{1,12 \cdot 1,22 - 0,71^2 \cdot 0}{0,71 \cdot 1,22} \right) + \arctan \left( \frac{0,71^2 \cdot 0}{0,71 \cdot 1,22} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[ \frac{1,12^2 + (1,22 + 1)^2 - 2 \cdot 1,22 \cdot (1 + 1,12 \cdot 0)}{2,49 \cdot 1,14} \right] \cdot \arctan \left( \frac{2,49 \cdot 0,32}{1,14} \right) \right\} = \\ = 0,283.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,405^2 + 0,283^2} = 0,495.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (236,7 - 0,5 \cdot 386,8)) \\ = 0,97.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени принимается при  $d = 386,8$  м составляет 25 кВт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность теплового излучения:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0,495 \cdot 0,97 = 12 \text{ кВт/м}^2.$$

Расчет теплового потока при ветре 25 м/с.

Площадь пожара:  $F_{\Pi} = 117498,7$  м<sup>2</sup>.

Эффективный диаметр площади пожара:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 117498,7}{\pi}} = 386,8 \text{ м.}$$

Параметр  $u_*$ :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{25}{\sqrt{\frac{0,059 \cdot 9,81 \cdot 386,8}{3,196}}} = 6,07.$$

При  $u_* \geq 1$  принимается:

$$\cos\theta = u_*^{-0,5} = 6,07^{-0,5} = 0,406;$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0,406^2} = 0,914.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21}$$

$$= 55 \cdot 386,8 \cdot \left( \frac{0,059}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 386,8}} \right)^{0,67} \cdot 6,07^{0,21} = 270,3 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 161 + 0,5 \cdot 386,8 = 354,4 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 270,3}{386,8} = 1,4; \quad b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 354,4}{386,8} = 1,83;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} =$$

$$= \sqrt{1,4^2 + (1,83 + 1)^2 - 2 \cdot 1,4 \cdot (1,83 + 1) \cdot 0,914} = 1,66;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} =$$

$$= \sqrt{1,4^2 + (1,83 - 1)^2 - 2 \cdot 1,4 \cdot (1,83 - 1) \cdot 0,914} = 0,72;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,83^2 - 1) \cdot 0,406^2} = 1,18;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[ \frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right.$$

$$\times \arctan \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left( \frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \left. \right\} =$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -1,02 \cdot \arctan(0,54) + 1,02 \cdot \left[ \frac{1,4^2 + (1,83 + 1)^2 - 2 \cdot 1,83 \cdot (1 + 1,4 \cdot 0,914)}{1,66 \cdot 0,72} \right] \times \right.$$

$$\times \arctan \left( \frac{1,66 \cdot 0,54}{0,72} \right) + \frac{0,406}{1,18} \cdot \left[ \arctan \left( \frac{1,4 \cdot 1,83 - 1,54^2 \cdot 0,914}{1,54 \cdot 1,18} \right) + \arctan \left( \frac{1,54^2 \cdot 0,914}{1,54 \cdot 1,18} \right) \right] \left. \right\} =$$

$$= 0,355.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,54}\right) + \frac{0,914}{1,18} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{1,4 \cdot 1,83 - 1,54^2 \cdot 0,914}{1,54 \cdot 1,18}\right) + \arctan\left(\frac{1,54^2 \cdot 0,914}{1,54 \cdot 1,18}\right) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \left[ \frac{1,4^2 + (1,83+1)^2 - 2 \cdot 1,83 \cdot (1 + 1,4 \cdot 0,914)}{1,66 \cdot 0,72} \right] \cdot \arctan\left(\frac{1,66 \cdot 0,54}{0,72}\right) \right\} = \\
&= 0,878.
\end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,355^2 + 0,878^2} = 0,947.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\begin{aligned}
\tau &= \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (354,4 - 0,5 \cdot 386,8)) \\
&= 0,893.
\end{aligned}$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени принимается при  $d = 386,8$  м составляет 25 кВт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность теплового излучения:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0,947 \cdot 0,893 = 21,15 \text{ кВт/м}^2.$$

Аналогично были получены величины плотности теплового потока на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).

Поле величин теплового потока изображено на рисунке 23.

Варианты значений теплового потока при различной силе ветра изображены на рисунке 24.

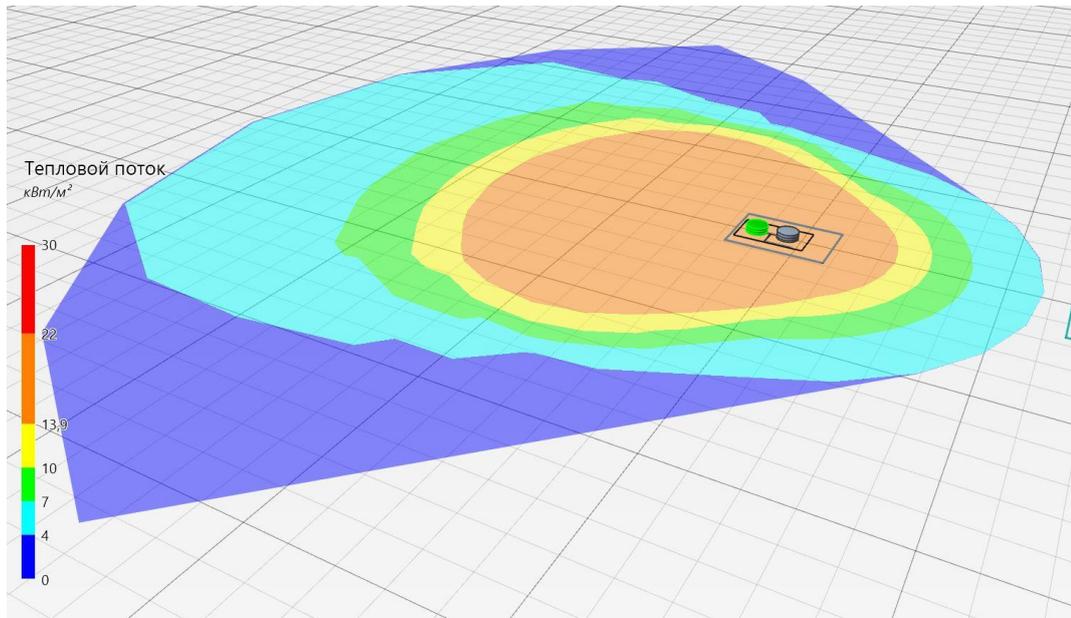


Рисунок 23 – Поле величин теплового потока

На графике ниже представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.

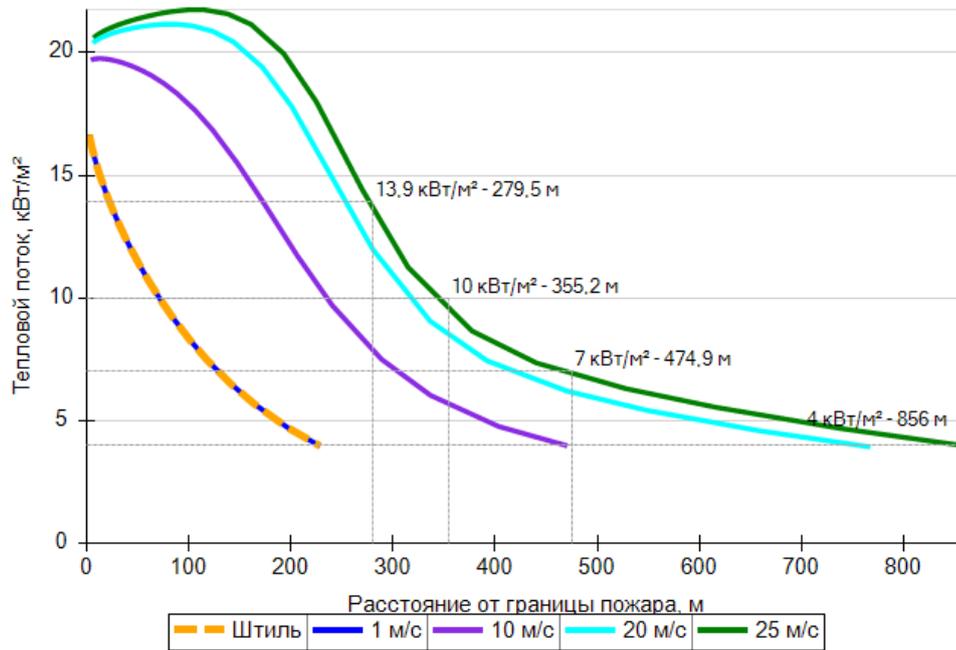


Рисунок 24 – Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС (сценарий 10).

Условная вероятность возникновения: 0,013824. Частота возникновения:  $6,912 \cdot 10^{-8} \text{год}^{-1}$ .

Удельное энерговыделение:

$$E_{\text{уд}} = E_{\text{уд0}} \cdot \beta = 44 \cdot 1 = 44 \text{ МДж.}$$

Масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени:

$$M_{\text{T}} = m_{\text{п}} \cdot Z = 162219,1 \cdot 0,1 = 16221,912 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_{\text{T}} \cdot E_{\text{уд}} = 16221,912 \cdot 44 = 713764,15 \text{ МДж.}$$

При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается:

$$E = 713764,15 \cdot 2 = 1427528,3 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 162219,1^{1/6} = 317,6 \text{ м/с.}$$

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 567,8 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{567,8}{(1427528,3 \cdot 10^6 / 101300)^{1/3}} = 2,35.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left( \frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left( \frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left( \frac{317,6^2}{340^2} \right) \cdot \left( \frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left( \frac{0,83}{2,35} - \frac{0,14}{2,35^2} \right) \cdot 101300 = 2,482 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left( \frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 0,801 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,801) \cdot \left( \frac{0,06}{2,35} + \frac{0,01}{2,35^2} - \frac{0,0025}{2,35^3} \right) = 0,015; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{317,6}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 0,801. \end{aligned}$$

Импульс фазы сжатия:

$$\begin{aligned} I^+ &= \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,015 \cdot 101300^{2/3} \cdot (1427528,3 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} \\ &= 1062,9 \text{ Па} \cdot \text{с.} \end{aligned}$$

Аналогично были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака (рисунки 25-26).

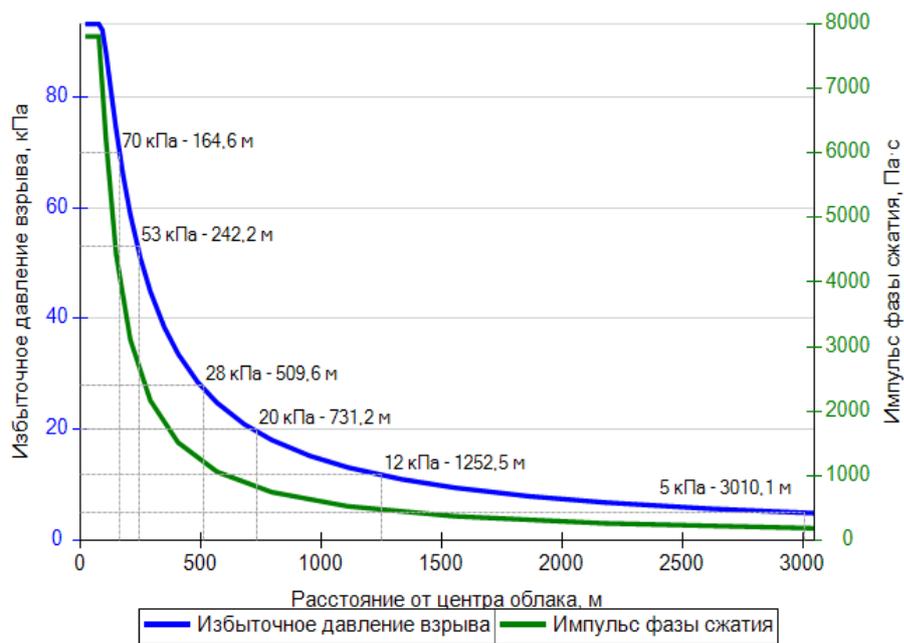


Рисунок 25 – Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия

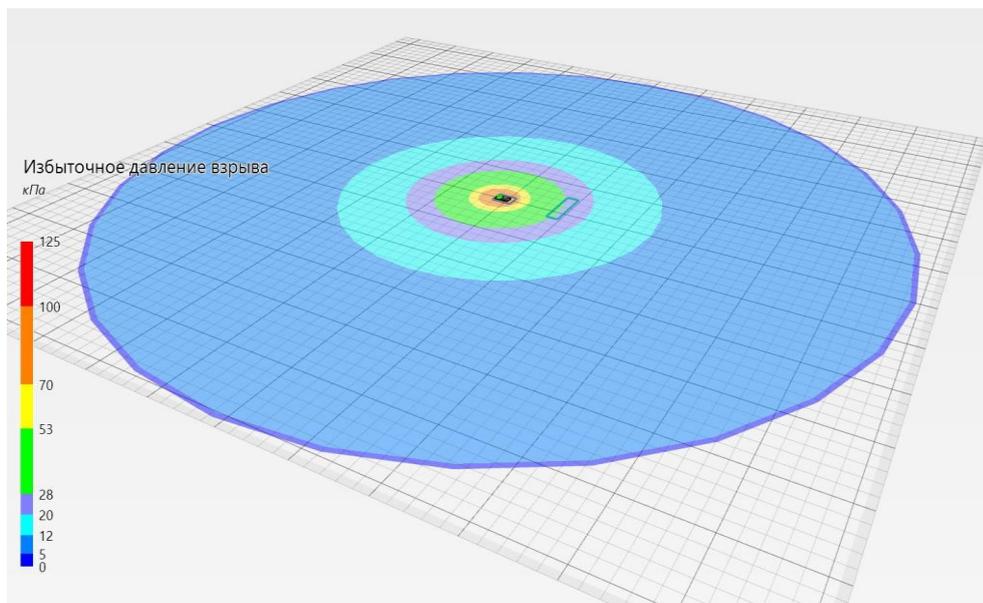


Рисунок 26 – Поле величин избыточного давления взрыва

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение ( $4 \text{ кВт/м}^2$ ) составляет:

$$x = r_4 - r' = 330,1 - 62,2 = 267,9 \text{ м.}$$

Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара) (рисунки 27 и 28).

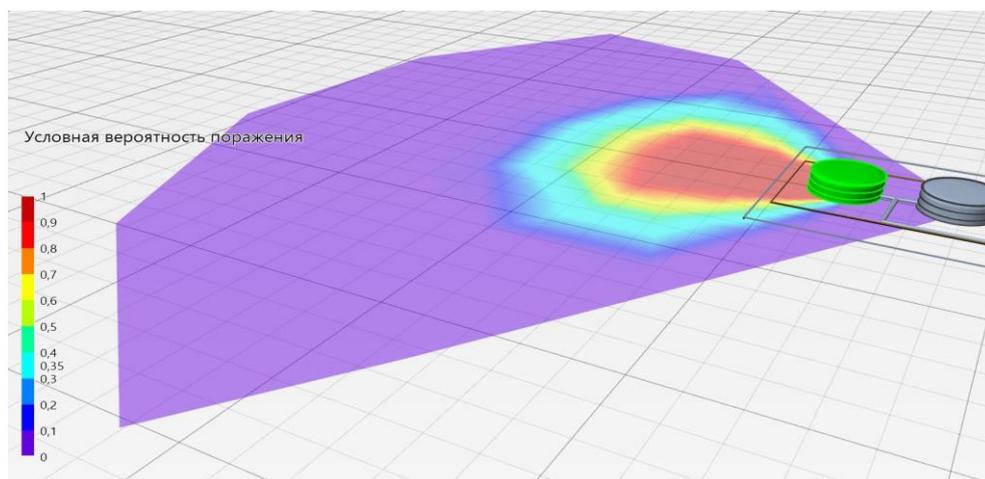


Рисунок 27 – Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

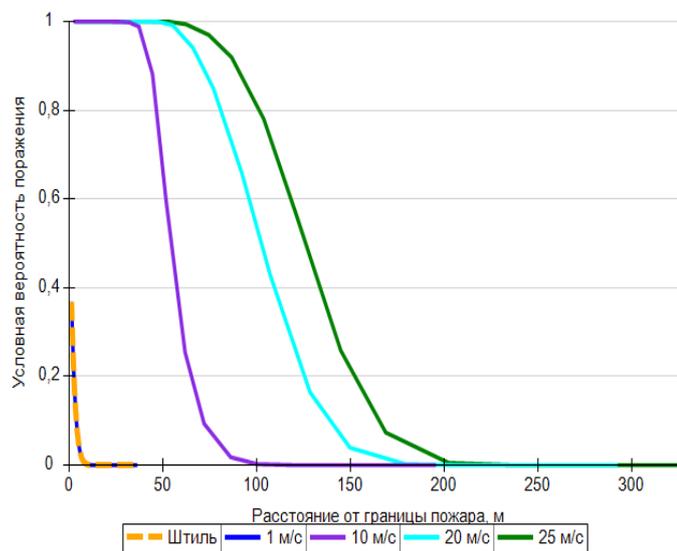


Рисунок 28 – Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Примечание: здесь и далее условная вероятность поражения приведена без учета защиты экранами и стенами зданий.

Взрыв ТВС. Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет  $\Delta P = 2,181 \cdot 10^4$  Па, импульс фазы сжатия  $I^+ = 304,7$  Па · с.

Величина параметра V составляет:

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,181 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{304,7}\right)^{9,3} = 0,788.$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 0,788 = 5,062.$$

Условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{5,062-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0,524727.$$

Результаты условной вероятности поражения человека волной давления приведены на рисунке 29.

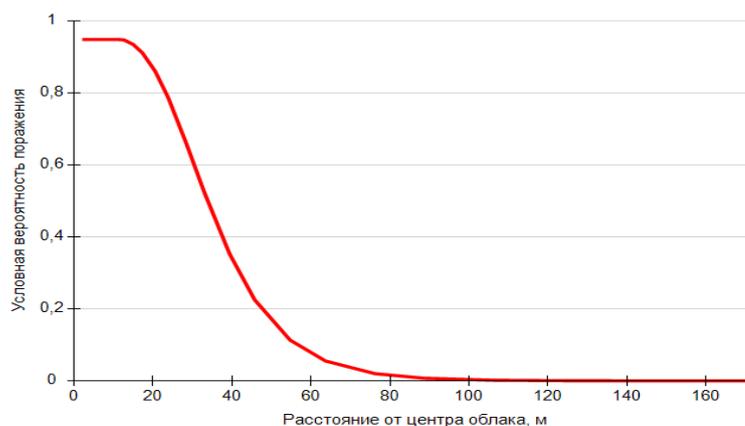


Рисунок 29 – Условная вероятность поражения человека волной давления

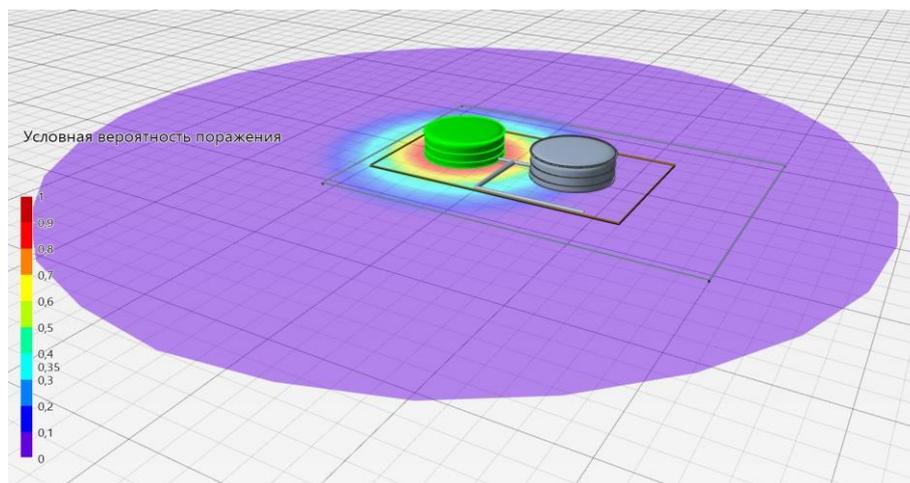


Рисунок 30 – Поле вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка. Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0. Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газопаровоздушного облака при пожаре-вспышке составляет:

$$R_F = 1,2 \cdot R_{НКПР} = 1,2 \cdot 38 \text{ м} = 45,6 \text{ м}.$$

Условная вероятность поражения человека изображена на рисунке 31.

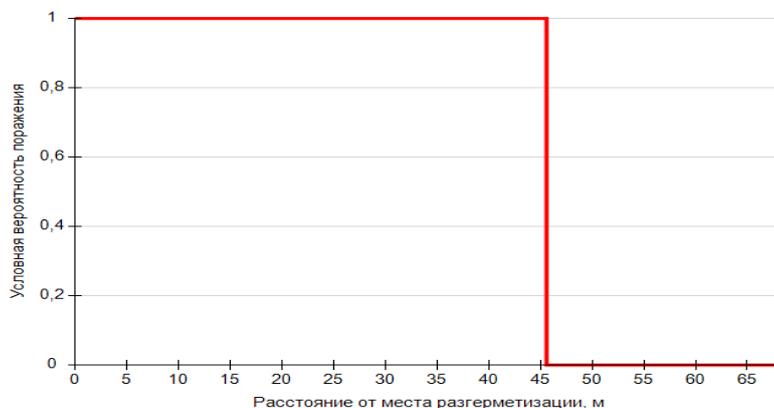


Рисунок 31 – Условная вероятность поражения человека при вспышке

Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаровспышке изображено на рисунке 32.

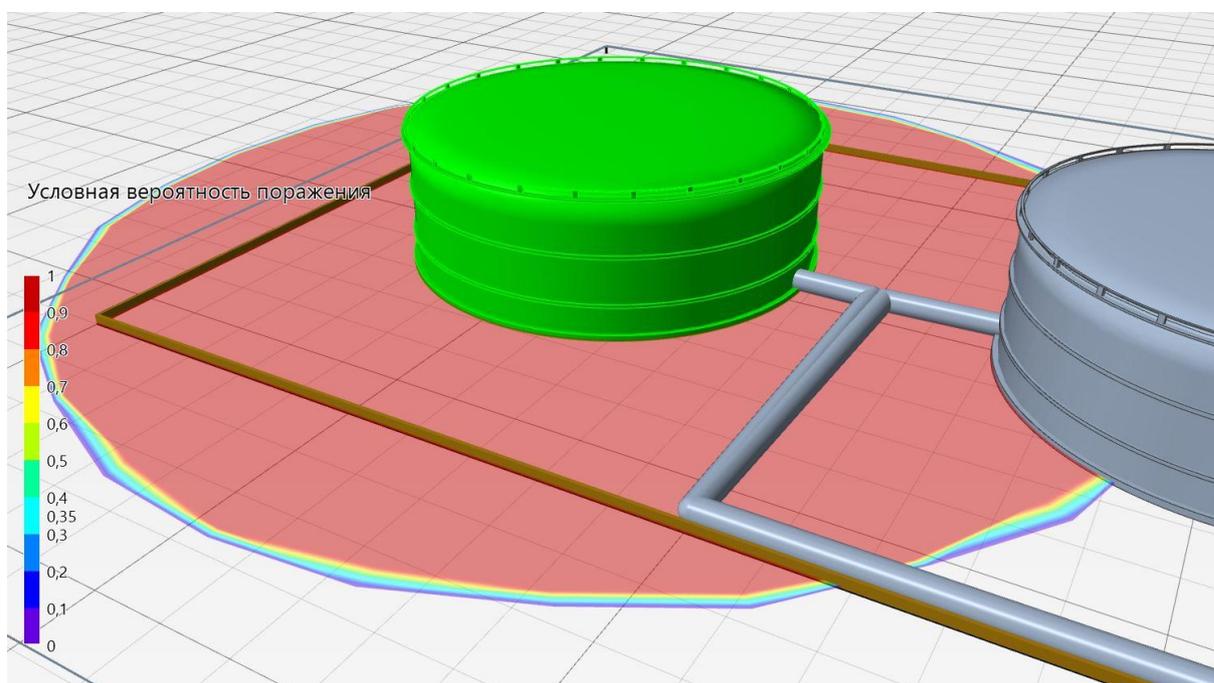


Рисунок 32 – Поле величин условной вероятности поражения человека при вспышке

Вычисление расчетных величин пожарного риска.

Потенциальный риск на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта.

Потенциальный риск от оборудования объекта.

Величина потенциального пожарного риска в определенной точке как на территории объекта, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j, \quad (18)$$

где  $J$  – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(a)$  – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории ( $a$ ) в результате реализации  $j$ -го сценария развития

пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

$Q_j$  — частота реализации в течение года  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год<sup>-1</sup>.

На рисунке 33 приведены поля потенциального пожарного риска, обусловленного возникновением пожароопасных ситуаций в оборудовании объекта.

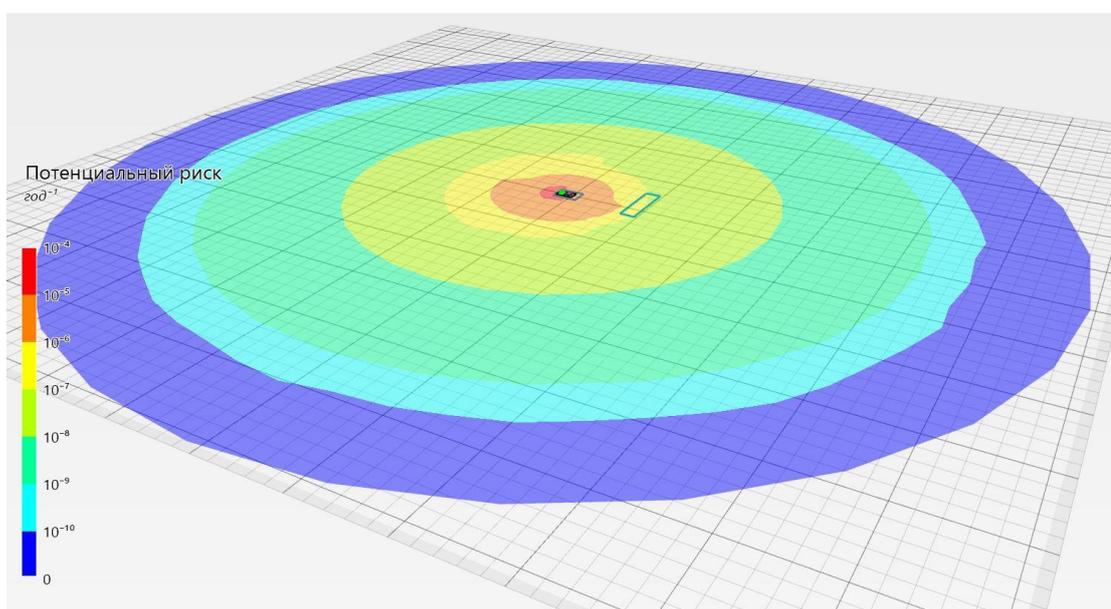


Рисунок 33 – Поле потенциального пожарного риска (Резервуар №1)

Индивидуальный пожарный риск.

Вероятности нахождения людей на участках территории объекта и в зданиях приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Вероятность нахождения людей

Категория людей	Группа людей	Здание, область территории	$q_{im}$
Персонал объекта	Персонал	Граница объекта	0,12
-	-	Обвалование_01	0,12
Население	Люди на дачных участках (180 чел.)	Дачные участки	1

Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта.

Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта определяется для каждой группы людей с учетом вероятности их нахождения в каждой области территории или здании по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (19)$$

где  $P(i)$  — интегрированная по площади величина потенциального риска в  $i$ -ой области территории объекта, год<sup>-1</sup>;

$q_{im}$  — вероятность присутствия работника  $m$  в  $i$ -ой области территории объекта.

Результаты расчетов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта

Группа людей	Здание, область территории объекта	$q_{im}$	$P(i)$ (мин. ... макс.), год <sup>-1</sup>	$R_m(i)$ , год <sup>-1</sup>
Персонал	Обвалование_01	0,12	$1,591 \cdot 10^{-5} \dots 2,653 \cdot 10^{-4}$	$1,573 \cdot 10^{-5}$
-	-	-	Итого: $R_m =$	$1,573 \cdot 10^{-5}$

Индивидуальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия людей в зданиях, сооружениях и строениях вблизи производственного объекта:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (20)$$

где  $P(i)$  — интегрированная по площади величина потенциального риска в  $i$ -ой области территории в селитебной зоне, год<sup>-1</sup>;

$q_{im}$  — доли времени присутствия людей  $m$  в  $i$ -ой области территории (здании) в селитебной зоне.

Доля времени присутствия людей принимается: для зданий, сооружений и строений классов Ф1 по функциональной пожарной опасности – 1; для зданий, сооружений и строений классов Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5 по функциональной пожарной опасности с круглосуточным режимом работы – 1, при некруглосуточном режиме работы – доля времени присутствия людей в соответствии с организационно-распорядительными документами для этих зданий, сооружений и строений.

Результаты расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет индивидуального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта

Группа людей	Здание, область территории объекта	$q_{im}$	$P(i)$ (мин. ... макс.), год <sup>-1</sup>	$R_m(i)$ , год <sup>-1</sup>
Люди на дачных участках	Дачные участки	1	$1,746 \cdot 10^{-7} \dots 1,429 \cdot 10^{-6}$	$4,131 \cdot 10^{-7}$
			Итого: $R_m =$	$4,131 \cdot 10^{-7}$

### Социальный пожарный риск

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, социальный пожарный риск принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек:

$$S = \sum_{j=1}^L Q_j, \quad (21)$$

где  $L$  – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров), для которых среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи объекта в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва превышает 10 человек;

$Q_j$  – частота возникновения пожароопасной ситуации (пожара), год<sup>-1</sup>.

Ниже приведены сценарии, реализация которых ведет к гибели 10 и более человек, и частота их возникновения.

Таблица 11 – Сценарии, реализация которых ведет к гибели 10 и более человек, и частота их возникновения (Резервуар №1)

Номер сценария	Иницирующее событие	Сценарий	Количество погибших в селитебной зоне, чел.	Частота возникновения, год <sup>-1</sup>
9	Разрушение	Пожар (ветер – В)	27,67	$1,144 \cdot 10^{-7}$
9	Разрушение	Пожар (ветер – СВ)	12,45	$1,32 \cdot 10^{-7}$
10	Разрушение	Взрыв ТВС	147,59	$6,912 \cdot 10^{-8}$
12	Разрушение	Пожар (ветер – В)	27,67	$1,098 \cdot 10^{-7}$
12	Разрушение	Пожар (ветер – СВ)	12,45	$1,267 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, социальный пожарный риск (сумма частот возникновения вышеперечисленных событий, ведущих к гибели 10 и более человек) составляет  $2,358 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>

В результате проведенных расчетов получены следующие значения пожарных рисков [28].

Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и на территориях объекта составляет  $1,573 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 1 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1]. Согласно п. 3 ст. 93 [1], для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по

социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска [29].

Индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне, составляет  $4,131 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 4 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1]. Согласно п. 4.1 ст. 93 [1], для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной стомиллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной миллионной в год. При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите.

Социальный пожарный риск воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне, составляет  $2,358 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 5 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [23]. Согласно п. 4.1 ст. 93 [23], для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины социального пожарного риска одной десятимиллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение социального пожарного риска до одной стотысячной в год. При этом должны

быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите [19].

### **3.2 Организации действий сотрудников предприятия при пожаре**

На предприятии имеется инструкция по действиям сотрудников при пожаре, которая разработана в соответствии с требованиями:

- Федерального закона от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ «О пожарной безопасности»;
- Федерального закона от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- Правил противопожарного режима в Российской Федерации утвержденных Постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 №1479 (ППР в РФ);
- нормативно-технических и других документов, содержащих требования по пожарной безопасности, исходя из специфики пожарной опасности зданий, помещений и устанавливает единые требования по обеспечению пожарной безопасности.

Каждый работник предприятия при обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т. п.) должен:

- незамедлительно сообщить об этом по телефону на ПСЧ и в территориальную пожарную часть МЧС России (при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
- принять меры по эвакуации людей, а при условии отсутствия угрозы жизни и здоровью людей меры по тушению пожара в

начальной стадии.

Начальник и должностные лица предприятия, которые, в установленном порядке, назначены ответственными лицами за обеспечение пожарной безопасности, по прибытии к месту пожара должны:

- сообщить о возникновении пожара на ПСЧ (ПП) и в территориальную пожарную часть по телефону, поставить в известность руководство и дежурные службы Управления;
- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасание, используя для этого имеющиеся силы и средства;
- проверить включение в работу систем оповещения людей о пожаре;
- при необходимости, отключить электроэнергию, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;
- прекратить все работы в здании, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;
- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;
- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей.

Сложность тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением, заключается в том, что в них в процессе ликвидации пожара, кроме обычной пожарной опасности, реальной является также опасность получения электротравм со смертельным исходом ввиду продолжения их работы под напряжением даже в условиях пожара.

Несмотря на постоянное совершенствование и поддержание в работоспособном состоянии систем предотвращения пожаров и систем противопожарной защиты электроустановок, обслуживающих особо ответственных потребителей, пожары в них все же случаются. Поэтому для минимизации ущерба от таких пожаров на стадии их возникновения требуется четкая и слаженная работа персонала, обслуживающего эти

установки, по определению места или мест возникновения пожара, оценки обстановки, включению в работу противопожарного оборудования, а также не менее четкая и слаженная работа пожарных бригад, принимающих участие в ликвидации пожара.

При возникновении пожара в электроустановках, находящихся под напряжением, обслуживающий персонал обязан после немедленного сообщения о случившемся пожаре, определения места его возникновения.

Личному составу запрещается:

- самостоятельно производить какие-либо отключения и прочие операции с электрооборудованием;
- осуществлять тушение пожара в сильно задымленных помещениях с видимостью менее 5 метров;
- использовать в качестве огнетушащего вещества загрязненную воду, а также воду с добавлением пенообразователей, смачивателей и солей.

В случае пожара необходимо срочно покинуть здание, используя основные и запасные (пожарные) выходы или лестницы (без использования лифтов), как можно быстрее сообщить о пожаре в пожарную охрану, при этом сообщить свою Ф.И.О., адрес и другие необходимые сведения.

В начальной стадии развития пожар можно попытаться потушить, используя все имеющиеся средства пожаротушения (огнетушители, внутренние пожарные краны, покрывала, песок, воду и др.).

Необходимо помнить, что огонь на элементах электроснабжения нельзя тушить водой.

Предварительно надо отключить напряжение или перерубить провод топором с сухой деревянной ручкой. Если все старания оказались напрасными, и огонь получил распространение, нужно срочно покинуть здание (эвакуироваться) [9].

При задымлении лестничных клеток следует плотно закрыть двери, выходящие на них, а при образовании опасной концентрации дыма и

повышении температуры в помещении (комнате), переместиться на балкон, захватив с собой намоченное одеяло (ковер, другую плотную ткань), чтобы укрыться от огня в случае его проникновения через дверной и оконный проемы, дверь за собой плотно прикрыть.

Эвакуацию нужно продолжать по пожарной лестнице или через смежные помещения, если там нет огня, использовав крепко связанные простыни, шторы, веревки или пожарный рукав.

Спускаться надо по одному, подстраховывая друг друга. Подобное самоспасение связано с риском для жизни и допустимо лишь тогда, когда нет иного выхода. Нельзя прыгать из окон (с балконов) верхних этажей зданий, так как статистика свидетельствует, что это заканчивается смертью или серьезными увечьями.

При спасении пострадавших из горящего здания прежде чем войти туда, накройтесь с головой мокрым покрывалом (пальто, плащом, куском плотной ткани).

Дверь в задымленное помещение открывайте осторожно, чтобы избежать вспышки пламени от быстрого притока свежего воздуха. В сильно задымленном помещении продвигайтесь ползком или пригнувшись, дышите через увлажненную ткань.

Если на пострадавшем загорелась одежда, набросьте на него какое-нибудь покрывало (пальто, плащ) и плотно прижмите, чтобы прекратить приток воздуха.

При спасении пострадавших соблюдайте меры предосторожности от возможного обвала, обрушения и других опасностей. После выноса пострадавшего окажите ему первую медицинскую помощь и отправьте в ближайший медицинский пункт.

Каждый работник, обнаруживший пожар и его признаки (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

- немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную часть (при

этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность и фамилию);

- задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации людей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;
- известить о пожаре руководителя организации или заменяющего его работника;
- организовать встречу пожарных подразделений, принять меры по тушению пожара имеющимися на объекте средствами пожаротушения.

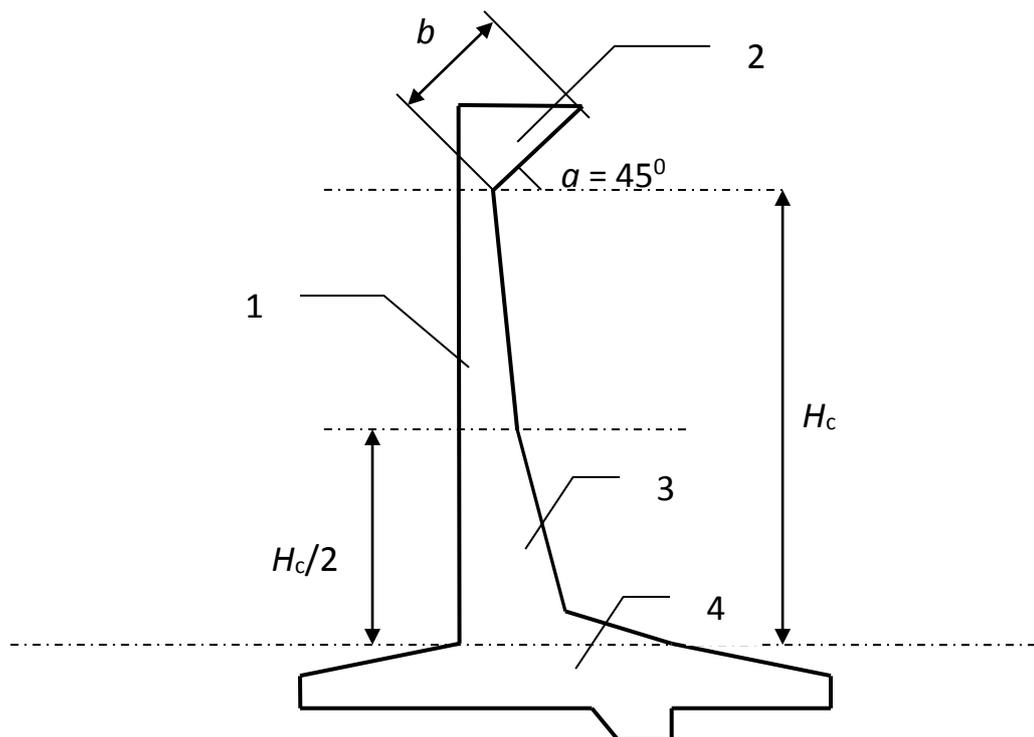
### **3.3 Технические решения по уменьшению пожарного риска**

В результате проведенных расчетов пожарных рисков определено, что:

- индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и на территориях объекта превышает нормативное значение  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 1 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне превышает нормативное значение  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 4 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- социальный пожарный риск воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне, составляет  $2,358 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 5 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Для снижения рисков необходимо рассчитать достаточную высоту обвалования для локализации пролива.

Принципиальная схема конструкции защитной преграды с отбойным козырьком от разлива нефти и нефтепродуктов при квазимгновенном разрушении РВС представлена на рисунке 34.



- 1 – защитная стена
- 2 – волноотражающий козырек
- 3 – площадка отражения потока
- 4 – основание преграды

Рисунок 34 – Принципиальная схема конструкции защитной преграды с отбойным козырьком от разлива нефти и нефтепродуктов при квазимгновенном разрушении РВС

Номинальные объемы и основные параметры вертикальных стальных резервуаров представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Номинальные объемы и основные параметры РВС

Номинальный объем резервуара, м <sup>3</sup>	D <sub>р</sub> , м	H <sub>р</sub> , м
со стационарной крышей		
3000	19,0	12,0
5000	21,0	15,0
10000	28,5	18,0
20000	40,0	18,0
30000	45,6	18,0
с плавающей крышей		
2000	15,2	12,0
3000	19,0	12,0
5000	22,8	12,0
10000	28,5	18,0
20000	40,0	18,0
30000	45,6	18,0

Геометрическая модель стены защитного ограждения с определяющими параметрами представлена на рисунке 35.

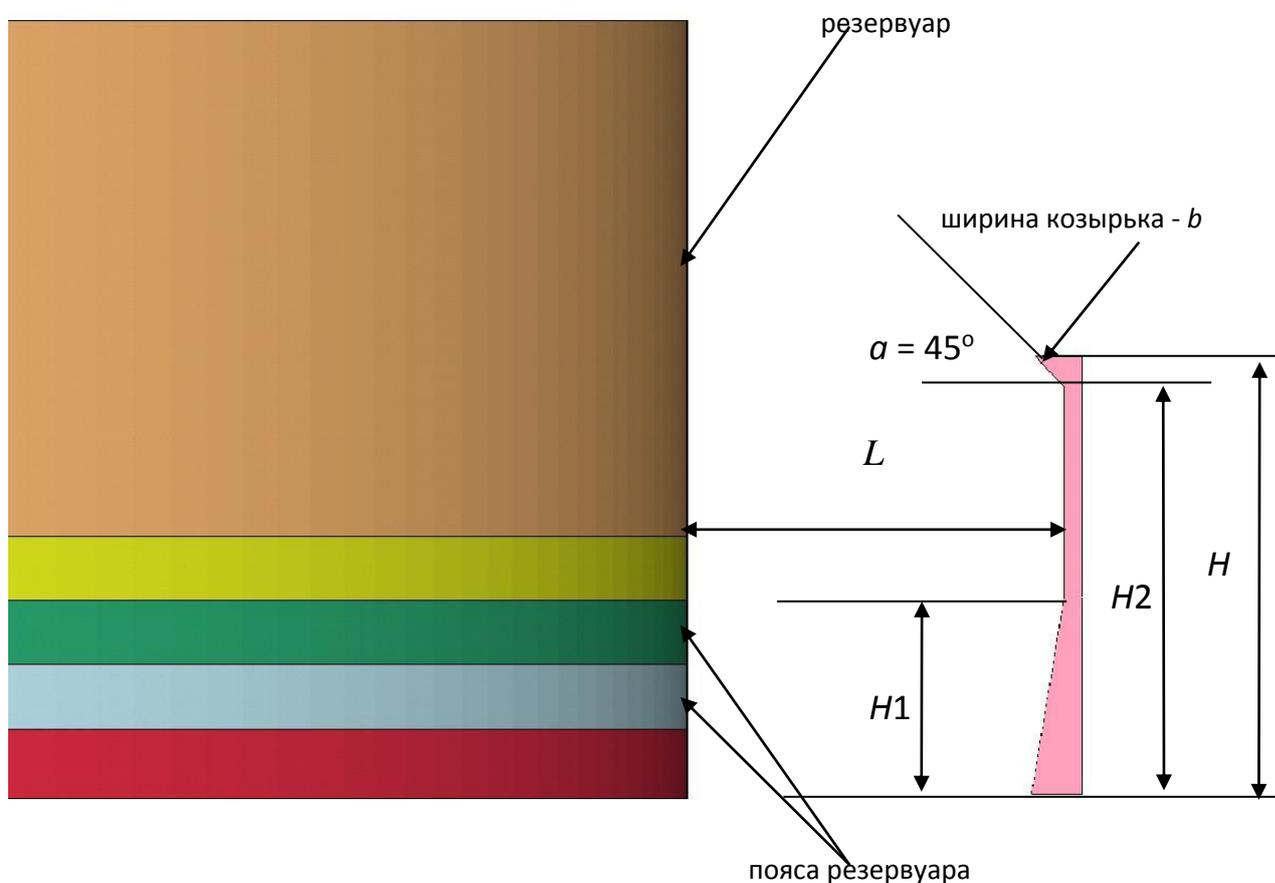


Рисунок 35 – Геометрическая модель стены защитного ограждения

Данные для расчета представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Данные для расчета

Диаметр резервуара, $D_{вн}$	45,6 м
Высота стенки резервуара, $H_{ст}$	18,0 м
Плотность хранимого продукта, нефть	0,8 т/м <sup>3</sup>
Начальное заполнение резервуара	17,8 м
Толщина и марки стали по поясам стенки резервуара (листы 1,5 м x 8,0 м):	
I пояс – 15 мм	сталь 09Г2С-12
II пояс – 14 мм	сталь 09Г2С-12
III пояс – 13 мм	сталь 09Г2С-12
IV пояс – 11 мм	сталь 09Г2С-12
V-XII пояса – 10 мм	Ст3сп5
Сталь 09Г2С-12 ( $R_y=315$ МПа; $R_u=460$ МПа) Ст3сп5 ( $R_y=240$ МПа; $R_u=360$ МПа)	

Рассматривается два варианта расположения стены ограждения на расстояниях 9 и 15 м от РВС-30000 м<sup>3</sup>. Резервуар не имеет усилений и второй защитной стенки (таблица 14).

Таблица 14 – данные для двух вариантов расположения стены ограждения на расстояниях 9 и 15 м от РВС-30000 м<sup>3</sup>

L, м	H, м	H1, м	H2, м	b, м
9,0	10,2	4,6	9,5	1,0
15,0	6,7	2,9	6,0	1,0

Длина моделируемого участка стены выбрана равной 72 м, что соответствует половине длины стенки резервуара при ее полном раскрытии.

Результаты расчета представлены в таблице 15.\

Таблица 15 – Результаты расчётов

L, м	F, Н	h, м	Q, Н/м
9	2,05E7	23	0,90E6
15	1,85E7	29	0,65E6

Эпюра погонной горизонтальной нагрузки на стену ограждения представлены на рисунках 36.

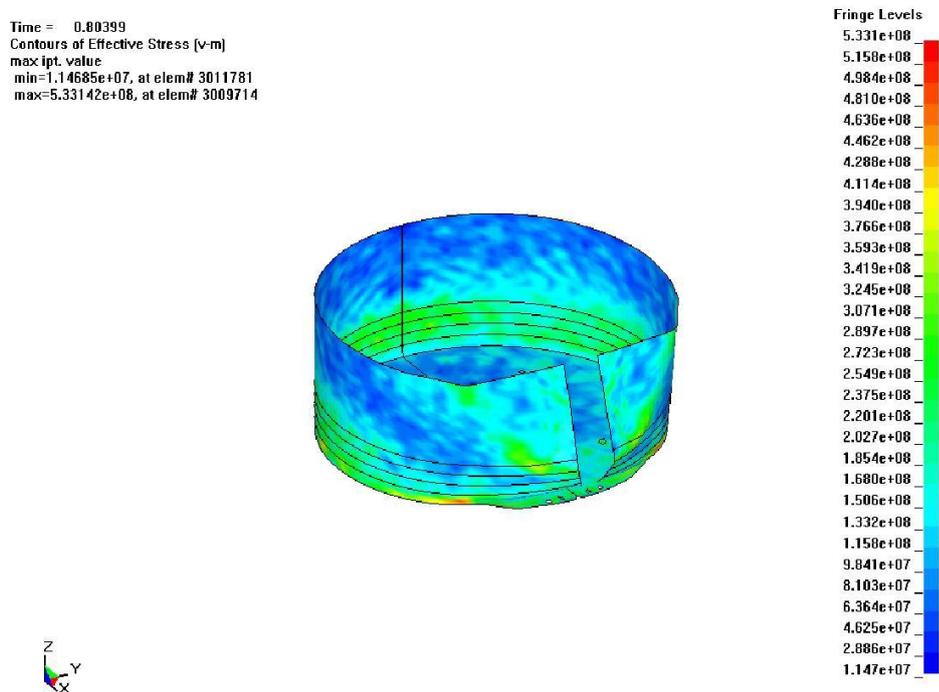


Рисунок 36 – Напряженно-деформированное состояние резервуара при разрушении стенки

Состояние ЛВЖ резервуара в момент разрушения представлено на рисунке 37.

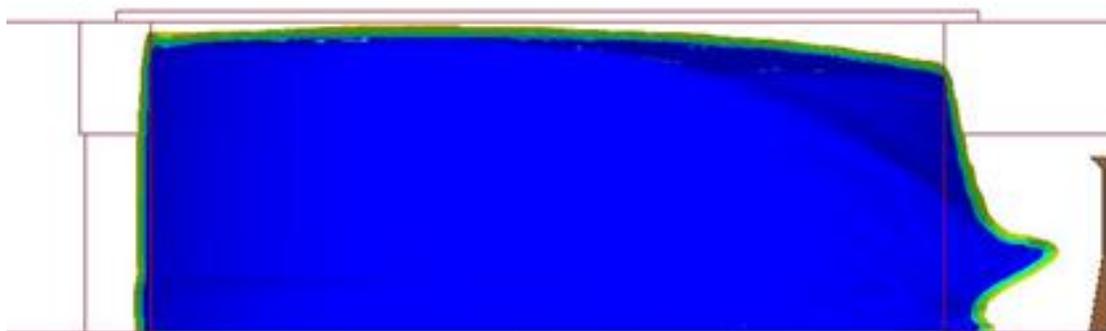


Рисунок 37 – Состояние ЛВЖ резервуара в момент разрушения

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 1,0$  с) представлено на рисунке 38.

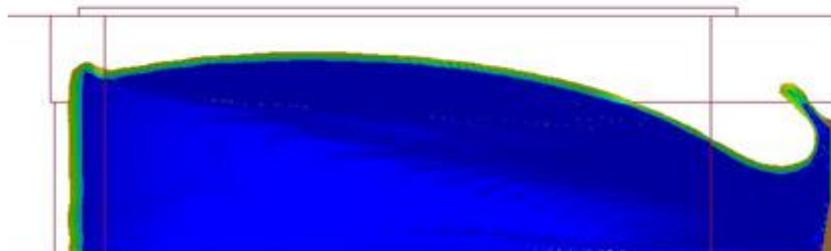


Рисунок 38 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 1,0$  с)

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 1,0$  с) представлено на рисунке 39.

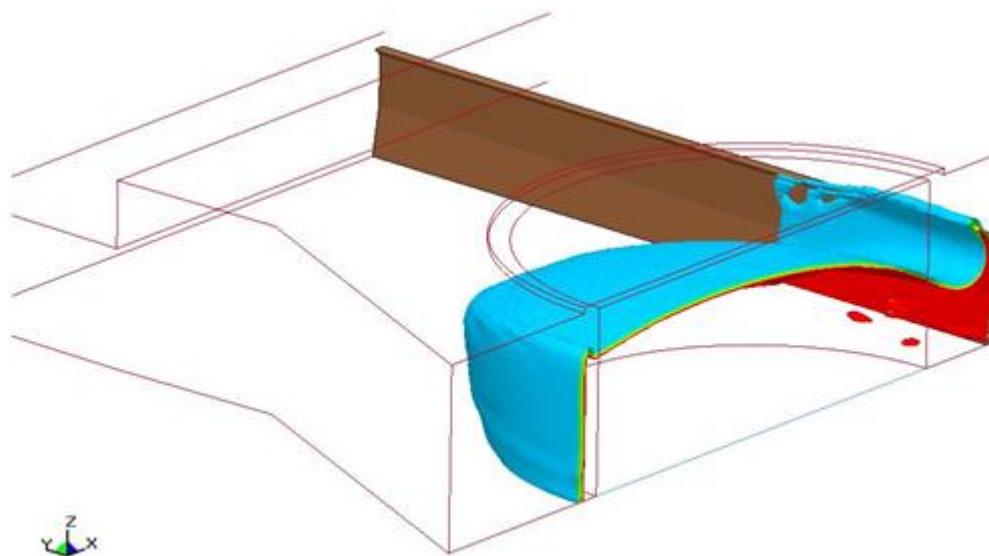


Рисунок 39 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 1,0$  с)

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 3,0$  с) представлено на рисунке 40.

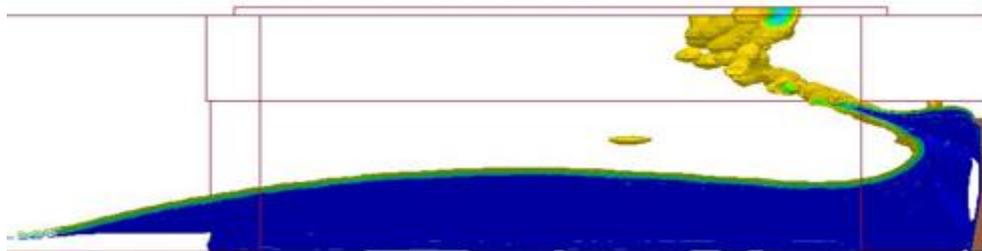


Рисунок 40 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 3,0$  с)

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 3,0$  с) представлено на рисунке 41.

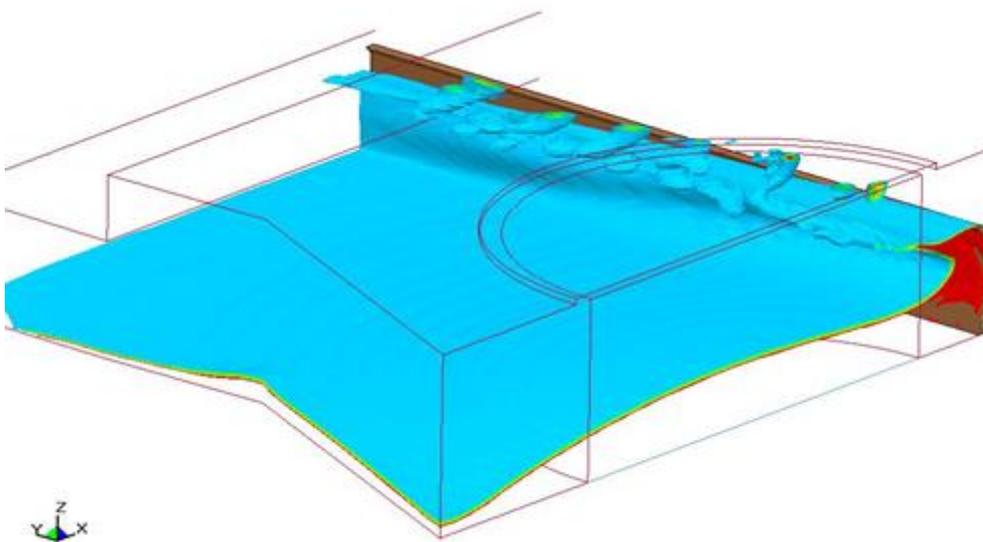


Рисунок 41 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 3,0$  с)

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 15 м,  $t = 4,0$  с) представлено на рисунке 42.

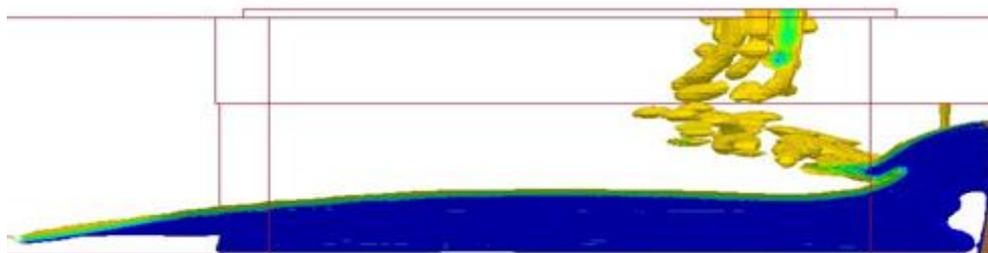


Рисунок 42 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 6,0$  с)

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 15 м,  $t = 4,0$  с) представлено на рисунке 43.

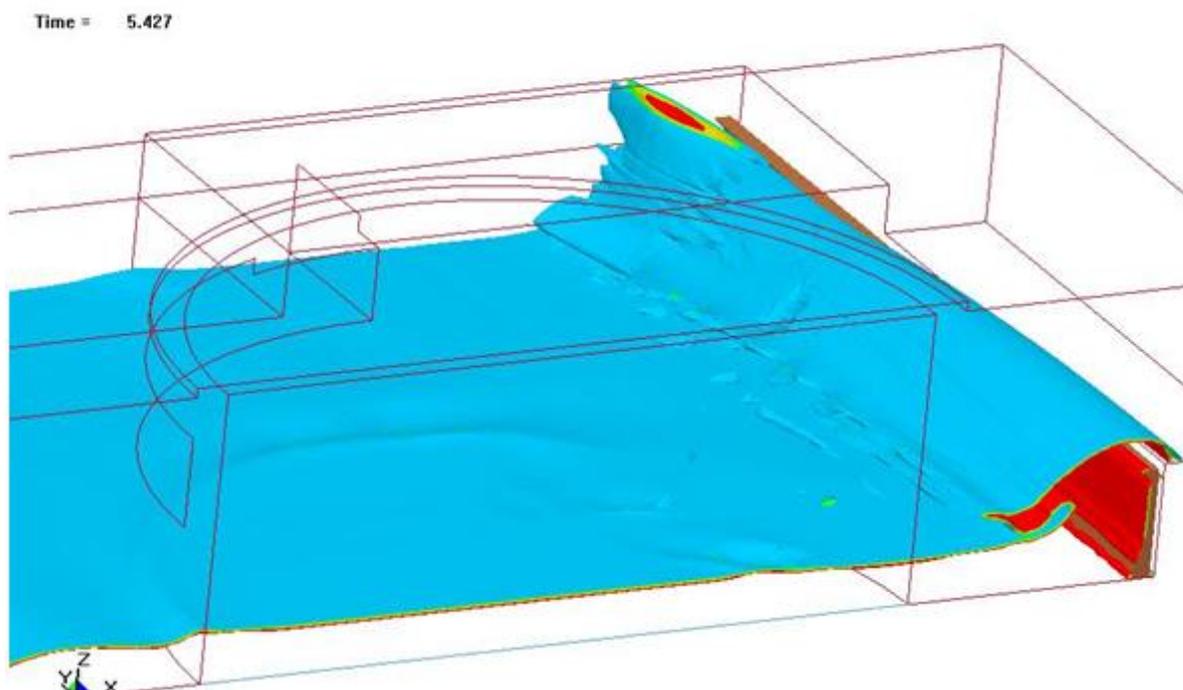


Рисунок 43 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 9 м,  $t = 6,0$  с)

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 15 м,  $t = 7,0$  с) представлено на рисунке 44.

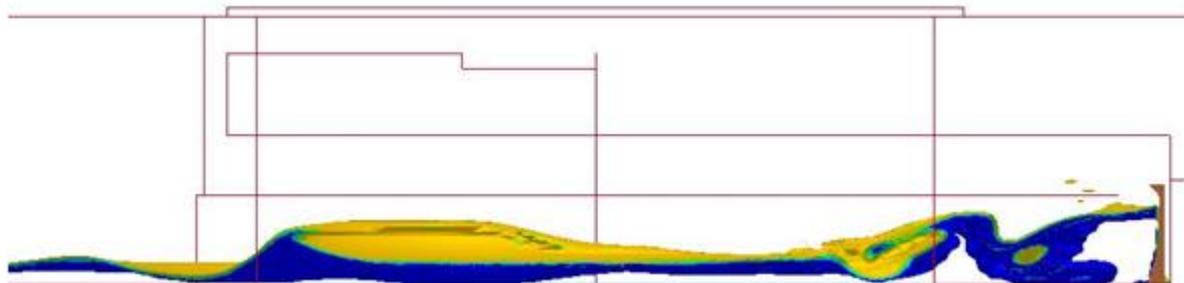


Рисунок 44 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 15 м,  $t = 7,0$  с)

Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 15 м,  $t = 7,0$  с) представлено на рисунке 45.

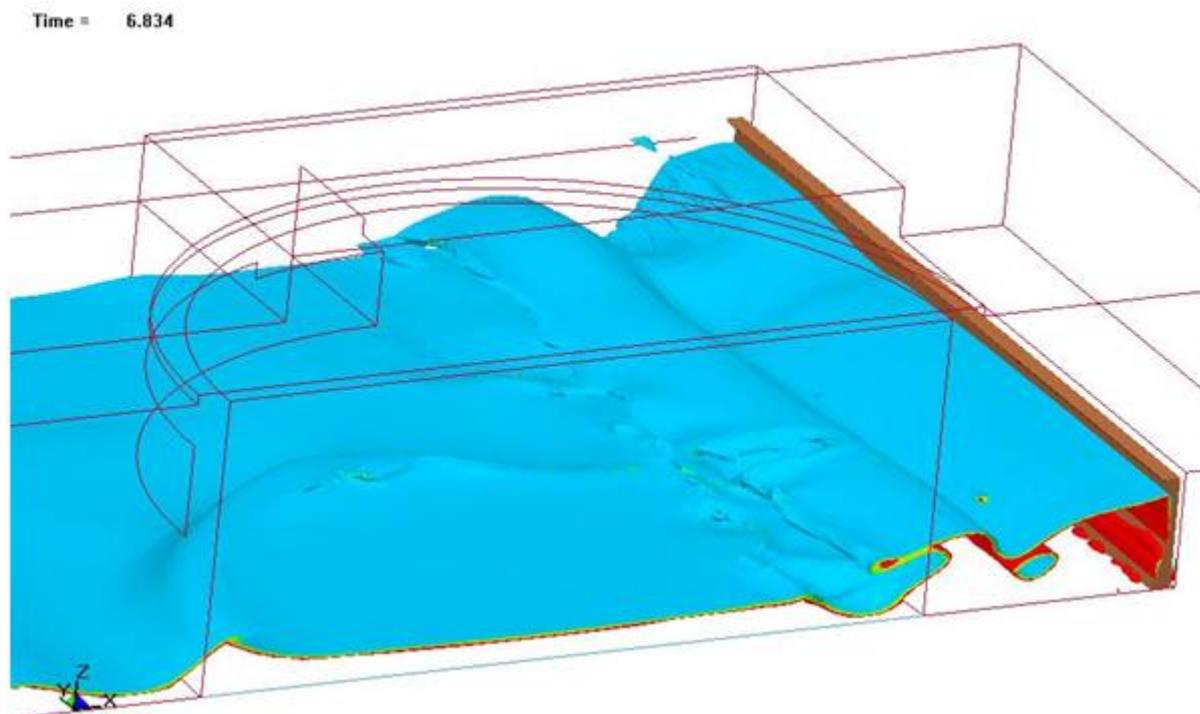


Рисунок 45 – Течение жидкости в различные моменты времени (расстояние до РВС 15 м,  $t = 7,0$  с)

Как следует из расчета, выбранная конструкция стены ограждения эффективно предотвращает перелив продукта. Незначительный перелив продукта возможен в случае расстояния между резервуаром и стеной ограждения 15 м.

Рассчитаны динамические нагрузки на защитную стену специальной конструкции. Из расчетов следует, что с увеличением расстояния до стенки резервуара от 9 до 15 м погонная нагрузка на стену ограждения уменьшается в 1,4 раза, а погонная нагрузка на отбойный козырек увеличивается в 1,3 раза.

### **3.4 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации**

Рассчитаем площадь пожара на территории группы резервуаров для хранения бензина по формуле 16:

$$F''_{\text{пож}} = n(v_{\text{л}} B_{\text{св.г}})^2 2 \text{ м}^2, \quad (16)$$

«где  $v_{\text{л}}$  – линейная скорость распространения горения по поверхности, м/мин;

$B_{\text{свг}}$  – время свободного горения, мин.» [18]

$$F''_{\text{пож}} = 3,14(1 \times 14)^2 4 = 1231 \text{ м}^2,$$

То есть площадь пожара будет равна площади обвалования.

Расчёт ожидаемых потерь предприятия от пожаров на территории группы резервуаров для хранения бензина будет производиться по формуле 17.

Данные для расчёта ожидаемых потерь исследуемого предприятия от пожаров на территории группы резервуаров для хранения бензина представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Данные для расчёта ожидаемых потерь от пожаров

Показатель	Измерение	Первый вариант	Второй вариант
Площадь пожара	м <sup>2</sup>	1600	400
Стоимость оборудования зданий и строений (резервуаров)	руб./м <sup>2</sup>	20000	20000
Стоимость частей зданий и строений (резервуаров)	руб./м <sup>2</sup>	20000	20000
Вероятность возникновения загорания на территории хранения нефтепродуктов	1/м <sup>2</sup> в год	9·10 <sup>-5</sup>	
«Вероятность тушения пожара привозными средствами пожаротушения» [18]	$P_2$	0,86	
«Вероятность тушения пожара первичными средствами» [18]	$P_1$	0,79	
«Вероятность тушения средствами автоматического пожаротушения» [18]	$P_3$	0,95	
«Коэффициент, учитывающий степень уничтожения объекта тушения пожара привозными средствами» [18]	-	0,52	
«Коэффициент, учитывающий косвенные потери» [18]	$k$	1,63	

Расчёт материальных потерь:

$$M(\Pi) = M(\Pi_1) + M(\Pi_2), \quad (16)$$

«где  $M(\Pi_1)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения;

$M(\Pi_2)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, ликвидированных подразделениями пожарной охраны;

$M(\Pi_3)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения» [18]:

$$M(\Pi_1) = JFC_m F_{\text{пож}} (1+k)p_1; \quad (17)$$

«где  $J$  – вероятность возникновения пожара, 1/м<sup>2</sup> в год;

$F$  – площадь объекта, м<sup>2</sup>;

$C_T$  – стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов, руб./м<sup>2</sup>;

$F_{\text{пож}}$  – площадь пожара на время тушения первичными средствами;

$p_1$  – вероятность тушения пожара первичными средствами;

$k$  – коэффициент, учитывающий косвенные потери» [18].

$$M(\Pi_2) = JF(C_m F'_{\text{пож}} + C_k) 0,52(1+k)(1-p_1)p_2; \quad (18)$$

«где  $p_2$  – вероятность тушения пожара привозными средствами;

$C_k$  – стоимость поврежденных частей здания, руб./м<sup>2</sup>;

$F'_{\text{пож}}$  – площадь пожара за время тушения привозными средствами»

[18].

Для первого варианта:

$$M(\Pi_1) = 9 \times 10^{-5} \times 3000 \times 20000 \times 1600 \times (1+1,63) \times 0,86 = 19541952 \text{ руб./год};$$

$$M(\Pi_2) = 9 \times 10^{-5} \times 1000 \times (20000 \times 1600 + 20000) \times 0,52 \times (1+1,63) \times (1-0,79) \times 0,86 = \\ = 711771,63 \text{ руб./год.}$$

Для второго варианта:

$$M(\Pi_1) = 9 \times 10^{-5} \times 3000 \times 20000 \times 400 \times (1+1,63) \times 0,86 = 4885488 \text{ руб./год};$$

$$M(\Pi_2) = 9 \times 10^{-5} \times 3000 \times (20000 \times 400 + 20000) \times 0,52 \times (1+1,63) \times (1- \\ 0,79) \times 0,86 = 534829,03 \text{ руб./год};$$

Общие ожидаемые потери исследуемого предприятия от пожаров на территории группы резервуаров для хранения бензина:

- если на объекте продолжает обеспечиваться существующая система обеспечения пожарной безопасности:

$$M(\Pi)_1 = 19541952 + 711771,63 = 20253723,63 \text{ руб./год};$$

- если на объекте смонтирована система ограждений, снижающая площадь разлива нефтепродуктов, а соответственно и площади пожара:

$$M(\Pi)_2 = 4885488 + 534829,03 = 5420317,03 \text{ руб./год.}$$

Стоимость выполнения предложенного плана мероприятий представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Стоимость выполнения предложенного плана мероприятий

Виды работ	Стоимость, руб.
Проектирование ограждений резервуаров	1000000
Монтаж ограждений резервуаров	31000000
Итого:	32000000

Экономический эффект от выполнения предложенного плана мероприятий составит:

$$I = \sum_{t=0}^T ([M(\Pi_1) - M(\Pi_2)] - [P_2 - P_1]) \times \frac{1}{(1+HД)^t} - (K_2 - K_1) \quad (11)$$

«где T – горизонт расчета (продолжительность расчетного периода);

t – год осуществления затрат;

HД – постоянная норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал.

M(Π1), M(Π2) – расчетные годовые материальные потери в базовом и планируемом вариантах, руб./год;

K1, K2 – капитальные вложения на осуществление противопожарных мероприятий в базовом и планируемом вариантах, руб.;

P1, P2– эксплуатационные расходы в базовом и планируемом вариантах в t-м году, руб./год» [18].

Расчёт денежных потоков от выполнения предложенного плана мероприятий представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчёт денежных потоков от выполнения предложенного плана мероприятий

Год	M(П)1-M(П)2	<i>Д</i>	$[M(П1)-M(П2)]/Д$	$K_2-K_1$	Денежные потоки
1	14833406,6	0,91	13498400,01	32000000	-18501599,99
2	14833406,6	0,83	12311727,48	-	12311727,48
3	14833406,6	0,75	11125054,95	-	11125054,95
4	14833406,6	0,68	10086716,49	-	10086716,49
5	14833406,6	0,62	9196712,09	-	9196712,09
6	14833406,6	0,56	8306707,70	-	8306707,70
7	14833406,6	0,51	7565037,37	-	7565037,37
8	14833406,6	0,47	6971701,10	-	6971701,10
9	14833406,6	0,42	6230030,77	-	6230030,77
10	14833406,6	0,39	5785028,57	-	5785028,57

Интегральный экономический эффект от монтажа системы ограждений, снижающая площадь разлива нефтепродуктов, а соответственно и площади пожара за десять лет составит 59077120,93 рублей.

Вывод по разделу.

В результате проведенных расчетов пожарных рисков определено, что:

- индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и на территориях объекта составляет  $1,573 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 1 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной

зоне, составляет  $4,131 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 4 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;

- социальный пожарный риск воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне, составляет  $2,358 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 5 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Для снижения рисков необходимо рассчитать достаточную высоту обвалования для локализации пролива.

Разработана схема конструкции защитной преграды с отбойным козырьком от разлива нефти и нефтепродуктов при квазимгновенном разрушении РВС.

Рассматривается два варианта расположения стены ограждения на расстояниях 9 и 15 м от РВС-30000 м<sup>3</sup>. Резервуар не имеет усилений и второй защитной стенки.

Длина моделируемого участка стены выбрана равной 72 м, что соответствует половине длины стенки резервуара при ее полном раскрытии.

Рассчитаны динамические нагрузки на защитную стену специальной конструкции. Из расчетов следует, что с увеличением расстояния до стенки резервуара от 9 до 15 м погонная нагрузка на стену ограждения уменьшается в 1,4 раза, а погонная нагрузка на отбойный козырек увеличивается в 1,3 раза.

Как следует из расчета, выбранная конструкция стены ограждения эффективно предотвращает перелив продукта. Незначительный перелив продукта возможен в случае расстояния между резервуаром и стеной ограждения 15 м.

## Заключение

Контекст проектирования пожарной безопасности – это необходимость оценки пожарной опасности и риска и предложения стратегий и проектов пожарной безопасности, основанных на производительности, а не на предписаниях.

Чтобы определить эффективность противопожарной защиты на предприятии, необходимо оценить все её элементы.

Оценка эффективности пожарной безопасности здания разбивается, для упрощения процесса, на восемь отдельных компонентов системы (подсистемы, обозначаемые префиксами SS1 к SS8), относящиеся либо к инструментам для инженерной оценки пожарной безопасности (SS1-SS5), либо к целям пожарной безопасности (SS6 - SS8).

На практике оценка пожарной безопасности предполагает использование научно обоснованных или статистических расчетов для демонстрации эффективного уровня пожарной безопасности для конкретного здания, сооружения или установки.

В целом, последствия пожаров, зарегистрированных на территории Российской Федерации в 2019 году на 100 тыс. человек населения, в Оренбургской области не превышают общероссийские:

- количество пожаров – 353,18 (по России – 320,72 пожаров), из них в жилье – 64,29 (по России – 63,74);
- количество погибших – 4,95 (по России – 5,79);
- количество травмированных – 6,42 (по России – 6,45).

В результате проведенных расчетов пожарных рисков определено, что:

- индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и на территориях объекта составляет  $1,573 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 1 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;

- индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне, составляет  $4,131 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 4 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- социальный пожарный риск воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне, составляет  $2,358 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, что превышает нормативное значение  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, установленное п. 5 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Для снижения рисков необходимо рассчитать достаточную высоту обвалования для локализации пролива.

Разработана схема конструкции защитной преграды с отбойным козырьком от разлива нефти и нефтепродуктов при квазимгновенном разрушении РВС.

Рассматривается два варианта расположения стены ограждения на расстояниях 9 и 15 м от РВС-30000 м<sup>3</sup>. Резервуар не имеет усилений и второй защитной стенки. Длина моделируемого участка стены выбрана равной 72 м, что соответствует половине длины стенки резервуара при ее полном раскрытии. Рассчитаны динамические нагрузки на защитную стену специальной конструкции. Из расчетов следует, что с увеличением расстояния до стенки резервуара от 9 до 15 м погонная нагрузка на стену ограждения уменьшается в 1,4 раза, а погонная нагрузка на отбойный козырек увеличивается в 1,3 раза.

Как следует из расчета, выбранная конструкция стены ограждения эффективно предотвращает перелив продукта. Незначительный перелив продукта возможен в случае расстояния между резервуаром и стеной ограждения 15 м.

## Список используемых источников

1. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Минимизация ущерба при пожаре в резервуарных парках // Пожаровзрывобезопасность. 2007. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/minimizatsiya-uscherba-pri-pozhare-v-rezervuarnyh-parkah> (дата обращения: 12.05.2022).
2. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Оценка риска деформации или взрыва резервуара при пожаре в резервуарном парке // Вестник ХНАДУ. 2006. №32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsenka-riska-deformatsii-ili-vzryva-rezervuara-pri-pozhare-v-rezervuarном-parke> (дата обращения: 12.05.2022).
3. Алекина Е.В., Бузуев И.И. Анализ и прогнозирование развития аварийных ситуаций при эксплуатации вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. №4-5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-prognozirovanie-razvitiya-avariynyh-situatsiy-pri-ekspluatatsii-vertikalnyh-tsilindricheskih-rezervuarov> (дата обращения: 12.05.2022).
4. Алешин Э.Л., Калач Е.В. Особенности обеспечения пожарной безопасности на складе горюче-смазочных материалов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-obespecheniya-pozharnoy-bezopasnosti-na-sklade-goryuche-smazochnyh-materialov> (дата обращения: 12.05.2022).
5. Бокадаров С.А., Гудков М.А., Поляков Р.Ю., Бобров А.И. Анализ процессов затухания горения со свободной поверхности резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-protsesov-zatuhaniya-goreniya-so-svobodnoy-poverhnosti-rezervuara-dlya-hraneniya-nefti-i-nefteproduktov> (дата обращения: 12.05.2022).

6. Бокадаров С.А., Поляков Р.Ю., Филимонов Е.Р. Оценка риска при возникновении аварии на пожаровзрывоопасном производственном объекте // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-riska-pri-vozniknovenii-avarii-na-pozharovzryvoopasnom-proizvodstvennom-obekte> (дата обращения: 12.05.2022).

7. Большаков А.М., Захарова М.И. Анализ риска аварии при взрыве внутри резервуара в условиях низких климатических температур // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-riska-avarii-pri-vzryve-vnutri-rezervuara-v-usloviyah-nizkih-klimaticheskikh-temperatur> (дата обращения: 12.05.2022).

8. Вогман Л. П. Основные подходы к оценке уровня пожарной опасности производственных объектов // Пожаровзрывобезопасность. 2004. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-podhody-k-otsenke-urovnya-pozharnoy-opasnosti-proizvodstvennyh-obektov> (дата обращения: 14.07.2021).

9. Гайсин Э.Ш., Гайсин М.Ш. Современное состояние проблем обеспечения надежности резервуаров для нефти и нефтепродуктов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-problem-obespecheniya-nadezhnosti-rezervuarov-dlya-nefti-i-nefteproduktov> (дата обращения: 12.05.2022).

10. Демёхин Ф.В., Цой А.А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности резервуаров с защитной стенкой // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-obespecheniya-pozharnoy-bezopasnosti-rezervuarov-s-zaschitnoy-stenкой> (дата обращения: 12.05.2022).

11. Жовна А.В. Эффективность объектов противопожарной защиты в обеспечении пожарной безопасности промышленных предприятий // Наука и техника. 2008. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-obektov->

protivopozharnoy-zaschity-v-obespechenii-pozharnoy-bezopasnosti-promyshlennyh-predpriyatii (дата обращения: 28.07.2021).

12. Злобин В.С., Чернов В.А. Математическое моделирование электризации в резервуарах-хранилищах // Решетневские чтения. 2016. №20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-elektrizatsii-v-rezervuarah-hranilischah> (дата обращения: 12.05.2022).

13. Климантов А. А., Вагин А. В. Применение системного анализа по оптимизации надежности резервуаров для нефтепродуктов с учетом требований промышленной безопасности // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2009. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sistemnogo-analiza-po-optimizatsii-nadezhnosti-rezervuarov-dlya-nefteproduktov-s-uchetom-trebovaniy-promyshlennoy> (дата обращения: 12.05.2022).

14. Колесников Е. Ю. О модельной неопределенности пожарного риска наземного резервуара с бензином // Пожаровзрывобезопасность. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-modelnoy-neopredelennosti-pozharnogo-riska-nazemnogo-rezervuara-s-benzinom> (дата обращения: 12.05.2022).

15. Куц Ю. Н., Корольченко И. А., Векслер Г. Б. Оценка условий инфильтрации нефтепродуктов в грунт при коррозионном повреждении обшивки резервуаров // Известия МГТУ. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-usloviy-infiltratsii-nefteproduktov-v-grunt-pri-korrozionnom-povrezhdenii-obshivki-rezervuarov> (дата обращения: 12.05.2022).

16. Лебединцев В.В., Любимов А.Н. Современные решения по обеспечению промышленной безопасности резервуарных парков нефтедобывающих производств РФ // Academy. 2016. №4 (7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-resheniya-po-obespecheniyu-promyshlennoy-bezopasnosti-rezervuarnyh-parkov-neftedobyvayuschih-proizvodstv-rf> (дата обращения: 12.05.2022).

17. Могильников А.А., Могильникова А.В. Выбор и обоснование основных показателей и факторов оценки пожарной безопасности АТЕ // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2010. №4 (55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-i-obosnovanie-osnovnyh-pokazateley-i-faktorov-otsenki-pozharnoy-bezopasnosti-ate> (дата обращения: 04.08.2021).

18. Методика и примеры технико-экономического обоснования противопожарных мероприятий к СНиП 21-01-97\* [Электронный ресурс] : МДС 21-3.2001. URL: [http://pzhproekt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3\\_2001.htm](http://pzhproekt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3_2001.htm) (дата обращения: 21.04.2022).

19. Петрова М.А. Пожарная безопасность производственного объекта // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2016. №3. URL: <https://pzhproekt.ru/articles/pozharnaya-bezopasnost-proizvodstvennogo-obekta> (дата обращения: 08.08.2021).

20. Петрова Н.В., Чешко И.Д., Галишев М.А. Анализ практики экспертного исследования пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2016. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-praktiki-ekspertnogo-issledovaniya-pozharov-na-obektah-hraneniya-nefti-i-nefteproduktov> (дата обращения: 04.08.2021).

21. Поляков А. С., Квашнин Б. С., Климантов А. А. Концептуальные основы оптимизации надежности резервуаров для нефтепродуктов с учетом требований промышленной безопасности // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2009. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-optimizatsii-nadezhnosti-rezervuarov-dlya-nefteproduktov-s-uchetom-trebovaniy-promyshlennoy-bezopasnosti> (дата обращения: 12.05.2022).

22. Седов Д.В. Оценка индивидуального пожарного риска объектов нефтепродуктообеспечения // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2009. №3 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-individualnogo-pozharnogo-riska-obektov-nefteproduktoobespecheniya-1> (дата обращения: 12.05.2022).

23. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 09.07.2021).

24. Цой А.А. Особенности пожарной опасности резервуаров с защитной стенкой // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-pozharnoy-opasnosti-rezervuarov-s-zaschitnoy-stenкой> (дата обращения: 12.05.2022).

25. Членов А.Н., Буцынская Т.А., Демехин Ф.В. Оценка эффективности новых Методов и технических средств обнаружения пожара. Пожаровзрывобезопасность. 2016. т. 25, № 12. с. 55-60. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2008-3/01-03-08.ttb.pdf> (дата обращения: 14.08.2021).

26. Шевцов С.А., Каргашилов Д.В., Быков И.А. К методике определения расчетных величин пожарного риска наземных резервуаров с нефтепродуктами // Современные проблемы гражданской защиты. 2017. №1 (22). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-metodike-opredeleniya-raschetnyh-velichin-pozharnogo-riska-nazemnyh-rezervuarov-s-nefteproduktami> (дата обращения: 12.05.2022).

27. Шевцов С.А., Быков И.А., Еськова Н.В., Владимиров Д.И., Балтабаев Д.Р. Оценка потенциального пожарного риска для оператора резервуарного парка от воздействия опасных факторов пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. №2 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-potentsialnogo-pozharnogo-riska-dlya-operatora-rezervuarnogo-parka-ot-vozdeystviya-opasnyh-faktorov-pozhara> (дата обращения: 12.05.2022).

28. Шевцов С.А., Каргашилов Д.В., Потеха С.В., Быков И.А. Оценка пожарной опасности “больших дыханий” наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов численными методами // Пожаровзрывобезопасность. 2017. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pozharnoy-opasnosti-bolshih-dyhaniy-nazemnyh-rezervuarov-dlya-hraneniya-nefteproduktov-chislennymi-metodami> (дата обращения: 12.05.2022).

29. Швырков С. А., Петров А. П. Снижение пожарных рисков на объектах нефтегазового комплекса на основе применения современных ограждений резервуарных парков // Пожары и ЧС. 2009. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-pozharnyh-riskov-na-obektah-neftegazovogo-kompleksa-na-osnove-primeneniya-sovremennyh-ograzhdeniy-rezervuarnyh-parkov> (дата обращения: 12.05.2022).

30. Якшибаев И.Н., Лукьянова И.Э. Идентификация опасностей на вертикальных стальных резервуарах // Известия вузов. Нефть и газ. 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/identifikatsiya-opasnostey-na-vertikalnyh-stalnyh-rezervuarah> (дата обращения: 12.05.2022).

31. Jessica Cheam, Robin Hicks. Ecological safety urged for sustainable development. 2018 URL: <https://www.eco-business.com/news/ecological-safetyurged-sustainable-development/> (дата обращения 12.05.2022).

32. Ana Solórzano, Santiago Marco Sensors. Chemical Sensor Systems and Associated Algorithms for Fire Detection: A ReviewJordi Fonollosa, 2018 [Electronic resource]. URL: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/2/553/htm> (дата обращения 12.05.2022).

33. Danisovic Peter, Glasa Jan, Weisenpacher Peter, Valasek Lukas Models of formation and spread of fire to increase safety of road tunnels MATEC Web of Conferences, 2017 [Electronic resource]. URL: [https://www.matecconferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/31/matecconf\\_rsp2017\\_00034.pdf](https://www.matecconferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/31/matecconf_rsp2017_00034.pdf) (дата обращения 12.05.2022).

34. Hong-Yun Yang, Xiao-Dong Zhou, Li-Zhong Yang, Tao-Lin Experimental Studies on the Flammability and Fire Hazards of Photovoltaic Modules Zhang Materials, 2015 [Electronic resource]. URL: <http://www.mdpi.com/1996-1944/8/7/4210/htm> (дата обращения 12.05.2022).

35. Jianjun Wu, Yongxing Jin, Junjie Fu Effectiveness Evaluation on Fire Drills for Emergency and PSC Inspections on Board TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2014 [Electronic resource]. URL: <https://doaj.org/article/5010f21359d74d3e8260f784359b0a57> (дата обращения 12.05.2022).