Fire Risks

Программное обеспечение
для оценки пожарных рисков

ВАЛИДАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ

FireRisks

Программа определения величин пожарного риска
на территории производственного объекта

Версия 1.1

Москва, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация…….. 3
1 Общие положения……...… 4
1.1 Предупреждение об использовании программы…….…….. 4
1.2 Область применения……. 4
1.3 Краткое описание возможностей……. 5
1.4 Уровень подготовки пользователя……...… 5
1.5 Перечень документации, с которым необходимо ознакомиться пользователю……...… 6
1.6 Условия, при которых обеспечивается применение программы 6
1.7 Контактная информация…….. 6
2 Введение……...… 7
3 Постановка цели и задач исследования ……... 10
4 Допущения и ограничения……. 11
5 Методика проведения сравнения……... 12
6 Сравнение результатов……... 14
6.1 Сравнение результатов расчета по тесту № 1……. 14
7 Обсуждение полученных результатов…….. 47
8 Выводы по результатам исследования…….. 52
Заключение……. 55
Список литературы…… 56

Аннотация

FireRisks – программа для определения расчетных величин пожарного риска на территории производственного объекта, которая позволяет квалифицированному пользователю произвести оценку пожарных рисков на территории рассматриваемого объекта защиты. Для начала работы с программой необходимо создать личный кабинет или авторизоваться.

В настоящем исследовании приводятся результаты валидации и верификации, в том числе оценка достоверности результатов расчета, получаемых в программе *FireRisks*.

Настоящий отчет размещен на официальном сайте программы *FireRisks*, по адресу www.firerisks.ru. Скачать и ознакомиться с отчетом можно по ссылке: www.firerisks.ru/validation.pdf.

1 Общие положения

1.1 Предупреждение об использовании программы

Индивидуальный предприниматель Гудина Екатерина Олеговна не дает никаких гарантий, выраженных или подразумеваемых, пользователям программы *FireRisks* и не несет никакой ответственности за использование программы. Пользователи программы *FireRisks* несут полную ответственность за определение уместности её применения в каждом конкретном случае и за выводы, сформированные на основе результатов, полученных с помощью программы. Пользователи программы несут единоличную ответственность, в соответствии с федеральными законами, за определение адекватности использования программы для каких-либо целей и за выводы, сделанные по результатам ее использования, а также за любые действия, предпринятые или не предпринятые в результате расчётов, выполненных при помощи программы.

Программа *FireRisks* предназначена для использования только компетентными в области пожарной безопасности, моделирования эвакуации и моделирования пожара пользователями. Программа *FireRisks* включает в себя компьютерные модели, которые могут работать корректно или некорректно применительно к конкретному набору исходных данных. Отсутствие точных результатов может привести к ошибочным выводам.

Программа *FireRisks* предназначена лишь для дополнения обоснованного мнения квалифицированного пользователя. Все результаты, получаемые с помощью программы, должны оцениваться квалифицированным пользователем.

1.2 Область применения

Программа *FireRisks* (далее *FireRisks*) предназначена для проведения расчетов, связанных с определением расчетных величин пожарного риска на территории производственного объекта, в соответствии с Приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010) "Об утверждении методики опреде-

ления расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 № 14541).

FireRisks не предназначена для определения величин пожарного риска внутри здания, в том числе, для моделирования эвакуации людей при пожаре из здания и моделирования динамики развития пожара внутри здания.

1.3 Краткое описание возможностей

FireRisks позволяет решать следующие задачи:

- автоматическое определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;
- автоматическое и ручное построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей;
- построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- выбор и оценка влияния дополнительных противопожарных мероприятий по снижению величин риска;
- определение величин потенциального, индивидуального и социального риска на территории производственного объекта и на прилегающей территории;
- автоматическое формирование отчета в виде отдельного текстового файла по результатам проведенных расчетов.

1.4 Уровень подготовки пользователя

Для работы в *FireRisks* пользователь должен иметь профессиональную квалификацию (профессиональную переподготовку) в одной из следующих областей: пожарная безопасность, техносферная безопасность, промышленная безопасность, а также начальными навыками работы с персональным компьютером и программой для просмотра веб-сайтов в сети Интернет (веб-браузер).

1.5 Перечень документации, с которыми необходимо ознакомиться пользователю

Перечень документов (доступны на сайтах http://www.firerisks.ru и www.lk.firerisks.ru), с которыми необходимо ознакомиться пользователю перед работой с программой:

- общее описание системы;

- инструкция по созданию проекта по расчету величин пожарного риска на территории производственного объекта в программе *FireRisks*;

- руководство пользователя.

1.6 Условия, при которых обеспечивается применение программы

Для стабильной работы *FireRisks* рекомендуется наличие следующих показателей:

Характеристики компьютера пользователя:

- Оперативная память (RAM): 1 Гб.
- Объем жесткого диска (HDD): 40 Гб.
- Разрешение экрана: 1280*800.

Тип операционной системы:

- Windows 7 и выше (x86/x64)

Тип веб-браузера:

- Google Chrome, Mozilla FireFox, Opera, Apple Safari версий, официально поддерживаемых производителями.

1.7 Контактная информация

Дистрибьютор: ИП Гудина Екатерина Олеговна.

Адрес: Московская область, город Химки, мкр. Подрезково, дом 7, кв. 15.

Почтовый адрес: 141446, Московская область, город Химки, мкр. Подрезково, дом 7, кв. 15.

Веб-сайт: http://www.firerisks.ru

2 Введение

В настоящее время трудно представить область деятельности, в которой не применялись бы информационные технологии и, соответственно, программное обеспечение. С каждым годом разрабатывается все больше программных продуктов, которые направлены на замены рутинных и однотипных действий, снижению вычислительной нагрузки и др.

Не исключением стала и область обеспечения пожарной безопасности, в которой разрабатываемое программное обеспечение направлено на выполнение сложных математических вычислений, как правило в области моделирования процессов и систем. Так, широкое развитие получили области моделирования: развитие пожара; эвакуация людей; оценка последствий аварий, взрывов и пожароопасных ситуаций; количественная оценка величин рисков на общественных и производственных объектах. Это связано с тем, что при таких видах моделирования решаются сложные математические уравнения, которые при ручном счете человека занимают значительное время.

Разрабатываемое программное обеспечение для решения таких задач должно быть, в первую очередь, достоверным [1-3], т.е. результаты, получаемые в таких программных продуктах, должны соответствовать реальным физическим данным и не отличаться, в определенной степени, от результатов, которые получает человек при ручном расчете, при условии, что этот расчет выполнен без ошибок.

Кроме того, программное обеспечение в области пожарной безопасности относится к классу систем с повышенными требованиями к надежности (*Safety-critical system*) [4-6], ошибки в которых приводят к гибели или травмам людей, крупным финансовым потерям, ущербу окружающей среде и т.д.

Накоплено немало данных о значимости и недопустимости ошибок, которые приводят к значительному материальному ущербу, а порой и к гибели людей. Так, в июне 1996 года, во Франции, производился запуск ракеты *Ariane*-5, которая упала спустя 40 секунд после старта. Экономический ущерб составил 7,5 млрд. долларов. Причина падения – ошибка программного обес-

печения, а именно, в ходе расчета горизонтальной скорости ракеты относительно платформы запуска одна из переменных преобразовывалась из 64 битной переменной с плавающей точкой в 16 битное целое. Соответственно, число оказалось слишком большим, произошло переполнение, и был запущен механизм самоуничтожения ракеты [7]. Или, например, в феврале 1991 года противоракета *Patriot* промахнулась мимо ракеты *Scud*, попадание которой в казарму с военными привело к 28 жертвам и более 100 раненным. Причиной промаха послужила ошибка округления – была потеряна точность при работе с 24 битной переменной с фиксированной точкой. В результате чего, ракета пролетела в 500 метрах от своей цели [8]. В нефтегазовой отрасли показательным является случай, произошедший в августе 1991 года в Северном море, где затонула нефтедобывающая платформа *Sleipner A*. Ущерб составил порядка 700 млн. долларов, а при достижении платформы дна, было вызвано землетрясение с магнитудой 3 балла. Причиной аварии послужила ошибка округления при моделировании нагрузок на основании платформы, которая привела к недооценке нагрузки на сдвиг на 47 % [9].

Таким образом, к программному обеспечению в области пожарной безопасности предъявляются повышенные требования к достоверности результатов, исключению критических ошибок.

Ошибки в разработке программного обеспечения могут появиться на любом из этапов разработки программного обеспечения: при разработке структуры программного обеспечения; при написании программного кода, при некорректной работе с базой данных и др. Большая часть ошибок обнаруживается в рамках этапа тестирования, в ходе которого проводится процедура валидации и верификации [10-12].

Как правило, под ошибкой понимается несоответствие полученного результата ранее обозначенным требованиям. Выделяют ошибки двух типов:

– в формулировке требований, т.е. построена неправильная система. Так, можно разработать правильное программное обеспечение, которое будет работать без ошибок, но оно не будет решать свою задачу по предназначе-

нию. Например, необходимо было разработать программу для расчета давления в аппарате, а программа безошибочно рассчитывает давление в трубопроводе. Такие ошибки определяются на этапе валидации [13].

– в соблюдении требований, т.е. система построена неправильно. В данном случае речь идет о достоверности получаемых данных, которые, при расчете в программном обеспечении не должны отличаться от рассчитанных вручную. Такие ошибки определяются на этапе верификации [13].

Применительно к программному обеспечению в области пожарной безопасности и к программе *FireRisks*, в частности, актуальным этапом является процедура верификации. Это обусловлено следующим – программное обеспечение в области пожарной безопасности разрабатывается на основании методик (положений, рекомендаций и др.), которые уже апробированы и, при ручном расчете, дают достоверный результат. Другими словам, при расчете критической плотности теплового потока по утвержденной методике будет получен результат именно критической плотности теплового потока. Более актуальной становится задача проведения процедуры верификации – проверки насколько достоверны результаты расчета, получаемые при работе с программным обеспечением.

Таким образом, настоящее исследование посвящено оценке результатов программы *FireRisks* при определении расчетных величин пожарных рисков на производственных объектах и их соответствию приказу МЧС № 404 от 10.07.2009 N 404 (в ред. от 14.12.2010) [14].

3 Постановка цели и задач исследования

Основное назначение программы *FireRisks* – определение расчетных величин пожарного риска на территории производственных объектов. Процедура оценки пожарного риска на таких объектах установлена федеральным законом от 22.07.2008 N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [15]. Основные математические модели и зависимости для проведения расчетов изложены в методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах и её приложений, утвержденной приказом МЧС России от 10.07.2009 N 404. Однако данная методика не содержит каких-либо результатов расчета, которые могли бы служить основой для проведения сравнительного анализа. В свою очередь, в целях разъяснения положений методики и процедуры проведения расчетов, ФГБУ ВНИИПО МЧС России (www.vniipo.ru) издало официальное пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов (далее Пособие) [16], в котором содержатся данные количественной оценки расчетных параметров моделей и величин пожарного риска, которые могут служить основой для проведения сравнения.

Целью настоящего исследования является определение достоверности получаемых в результате расчета данных в программе *FireRisks*.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

1. Сбор исходных данных, приведенных в Пособии для проведения сравнительной оценки.
2. Проведение моделирования в программе *FireRisks* на основании выявленных данных.
3. Сравнительная оценка и анализ полученных результатов.
4. Выявление причин расхождения результатов, если таковые будут иметь место.

4 Допущения и ограничения

Обзор данных, приведенных в Пособии, показал, что авторы не применяли автоматизированных программных средств для проведения расчетов. Таким образом, делаем допущение о возможном существовании различной природы ошибок и неточностей ввиду большого объема и количества итераций расчетов.

Введём ограничение на объем сравниваемых параметров. В силу специфики Методики, проводится огромное количество расчетов – для каждого метра расстояния (в программе *FireRisks* 3 000 метров) выполняется вычисление порядка 30 промежуточных значений. Таким образом, в ходе сравнительного анализа могут возникнуть ситуации, когда в приведенном примере расчета в Пособии эти промежуточные значения будут приведены, а в отчете программы *FireRisks* нет. В таком случае, будем проводить сравнение величины результата расчета, а не промежуточных значений.

Еще одним ограничением выступает следующее обстоятельство. Любые расчеты, в том числе компьютерные, могут и должны воспроизводиться и иметь одинаковый результат, только лишь при условии принятия идентичных исходных данных (в том числе размерностей) и использовании идентичной методологической базы (математических моделей). Другими словами, решение уравнения вида $y=x+2{,}35$, при значении x=5, всегда должно давать результат 7,35, вне зависимости какими образом и в каком месте производился расчет. В противном случае (не идентичные исходные данные и/или не одинаковых математических моделей), результаты будут отличаться, и не подлежат сравнению.

Заключительным ограничением, применительно к программе *FireRisks,* является процесс обобщения и формирования сценариев развития пожароопасных ситуаций/пожаров. В ходе проведения исследования, будет приведено разъяснение относительно данного обстоятельства.

5 Методика проведения сравнения

Для проведения сравнения достоверности программы *FireRisks*, в качестве эталона данных приняты результаты расчетов, представленные в Пособии. В таблице 1 приведены сведения об источнике данных.

Таблица 1 – Наименование источников данных для проведения сравнительного анализа

№ п/п	Наименование	Содержание	Источник
1	Тест № 1	Пример расчета для наружной установки	Пособие [16], стр. 54

Сравнение результатов будем осуществлять по общепринятой и апробированной методологии [17-18], с помощью выражения (1):

$$\Delta = \frac{X^{FR} - X^{P}}{X^{P}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где:

X^{P} – численный результат, приведенный в Пособии;

X^{FR} – численный результат, полученный в результате расчета программы *FireRisks*.

Результаты расчета будут интерпретироваться следующим образом:

– если полученное число имеет отрицательный знак – результат расчета в программе *FireRisks* меньше, чем приведенный в Пособии;

– если полученное число имеет положительный знак – результат расчета в программе *FireRisks* больше, чем приведенный в Пособии;

– если полученное число равно нулю – результат расчета в программе *FireRisks* равен приведенному в Пособии.

Процедура проведения сравнения состоит из следующих этапов:

1. Обобщение исходных данных и формализация результатов расчета, для теста, приведенного в таблице 1.

2. Ввод исходных данных в программу *FireRisks* и проведение моделирования;

3. Обобщение полученных результатов расчета;

4. Сопоставление полученных данных и их анализ.

Таким образом, в ходе настоящего исследования проводится лишь оценка правильности и корректности реализации моделей расчета параметров для определения величин риска и их достоверности.

6 Сравнение результатов

6.1 Сравнение результатов расчета по тесту № 1

Объектом расчета в тесте №1 является резервуарный парк бензина, условно размещенный на территории производственного объекта в Московском регионе. На основании приведенных данных в Пособии, сформирован перечень исходных данных, принятых для расчета.

Исходные данные:

Наименование объекта – резервуарный парк бензина.

Месторасположение – Московский регион.

Максимальная температура – 37 °С.

Максимальная повторяемость штиля – 0,12.

Характер загроможденности резервуарного парка – класс III.

Состав объекта – 2 резервуара (стальные вертикальные цилиндрические с купольной крышей без понтона) объемом 10 000 м^3 (диаметр резервуара 34,2 м, высота – 11,92 м) и 2 надземных трубопровода (вход и выход продукта из каждого резервуара осуществляется по одному патрубку) диаметром 900 мм, суммарная длина трубопроводов парка составляет 200 м.

Тип защиты резервуаров – стационарные установки водяного орошения, в качестве которых в парке предусматриваются кольца орошения.

Обвалование – резервуары и трубопроводы находятся в обваловании площадью 7 000 м^2 и высотой 3,5 м.

Коэффициент разлития – 20 м$^{-1}$.

Тип вещества – Бензин АИ-93. Свойства вещества: молярная масса – 95,3 кг/кмоль; температура вспышки – минус 37 °С; константы уравнения Антуана в диапазоне температур -60÷90 °С: А = 4,26511, В = 695,019, СА = 223,220; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 1,1 % (об.).

Результаты расчета по Пособию

Данные по частотам реализации инициирующих событий для резервуаров и трубопроводов, принятых для расчета в примере, представлены в Пособии [16], приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные по частотам реализации инициирующих событий для резервуаров и трубопроводов, принятые для расчета

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 25 мм	$8{,}8 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
2	Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 100 мм	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
3	Частота полного разрушения резервуара	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
4	Частота возникновения пожара на дыхательной арматуре резервуара	$9{,}0 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
5	Частота возникновения пожара по всей поверхности резервуара	$9{,}0 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
6	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 12,5 мм	$3{,}1 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$
7	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 25 мм	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$
8	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 50 мм	$5{,}2 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$
9	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 100 мм	$2{,}2 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$
10	Частота разрыва трубопровода по полному сечению	$4{,}2 \cdot 10^{-9}$ (год·м)$^{-1}$

Данные по условным вероятностям, принятые для расчета в примере, представлены в Пособии и приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные по условным вероятностям, принятые в расчете

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Условная вероятность мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}$	0,150
2	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{посл.воспл.утеч.}}$	0,176
3	Условная вероятность мгновенного воспламе-	0,200

	нения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{мгн.воспл.разр.}$	
4	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{посл.воспл.разр.}$	0,240
5	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании паровоздушного облака и его последующем воспламенении для всех типов утечек из резервуаров и трубопроводов, $P_{обр.изб.давл.}$	0,600
6	Данные по вероятности успешного срабатывания различных систем противоаварийной и противопожарной защиты, $P_{ор.}$	0,950
7	Данные по метеорологическим условиям в районе местонахождения объекта, $P_{штиля}$	0,120

Данные по повторяемости ветра в различных диапазонах скорости ветра, принятые для расчета в примере, приведенном в Пособии, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные по повторяемости ветра в различных диапазонах скорости ветра, принятые для расчета

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Повторяемость ветра со скоростью не более 1 м/с (повторяемость штиля), $P_{штиля}$	0,12
2	Повторяемость ветра со скоростью выше 1 м/с и не более 10 м/с, $P_{1\text{-}10\ м/с}$	0,72 м/с
3	Повторяемость ветра со скоростью выше 10 м/с и не более 20 м/с, $P_{10\text{-}20\ м/с}$	0,15 м/с
4	Повторяемость ветра со скоростью выше 20 м/с, $P_{>20\text{-}10\ м/с}$	0,01 м/с

Перечень пожароопасных ситуаций, пожаров и сценариев их развития, принятых для расчета в примере, приведенном в Пособии, представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень пожароопасных ситуаций, пожаров и сценариев их развития

Наименование оборудования	**Наименование пожароопасной ситуации/ пожара**	**Сценарий развития пожароопасной ситуации/ пожара**	**№ сценария**
Резервуар хранения бензина №1	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	1
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	2
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	3
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	4
		Взрыв паровоздушного облака	5
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	6
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	7
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	8
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	9
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	10
		Взрыв паровоздушного облака	11
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	12
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина без возникновения вторичных пожаров	13
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	14
		Взрыв паровоздушного облака	15
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	16
	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности	Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	17
		Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	18

	Возникновение пожара на дыхательной арматуре	Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	19
		Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	20
Резервуар хранения бензина №2	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	21
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	22
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	23
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	24
		Взрыв паровоздушного облака	25
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	26
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	27
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	28
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	29
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	30
		Взрыв паровоздушного облака	31
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	32
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина без возникновения вторичных пожаров	33
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	34
		Взрыв паровоздушного облака	35
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	36
	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности	Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	37
		Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	38

	Возникновение пожара на дыхательной арматуре	Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	39
		Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	40
Трубопроводы бензина	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	41
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	42
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	43
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	44
		Взрыв паровоздушного облака	45
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	46
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	47
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	48
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	49
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	50
		Взрыв паровоздушного облака	51
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	52
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	53
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	54
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	55
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	56
		Взрыв паровоздушного облака	57
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	58
	Разгерметизация тру-	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вто-	59

	бопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	ричных пожаров	
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	60
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	61
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	62
		Взрыв паровоздушного облака	63
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	64
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом)	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	65
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	66
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	67
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	68
		Взрыв паровоздушного облака	69
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	70

Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций в соответствии с таблицей 5, принятые для расчета в примере, приведенном в Пособии, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций в соответствии с таблицей 5

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Сценарий 1. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
2	Сценарий 2. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
3	Сценарий 3. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
4	Сценарий 4. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$6{,}2 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
5	Сценарий 5. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака	$9{,}5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
6	Сценарий 6. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$6{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
7	Сценарий 7. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$3{,}1 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
8	Сценарий 8. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$1{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
9	Сценарий 9. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$1{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
10	Сценарий 10. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$8{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
11	Сценарий 11. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
12	Сценарий 12. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$8{,}6 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
13	Сценарий 13. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся пол-	$1{,}8 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$

	ным разрушением. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина без возникновения вторичных пожаров	
14	Сценарий 14. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$9{,}2 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
15	Сценарий 15. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака	$6{,}9 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
16	Сценарий 16. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$4{,}6 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
17	Сценарий 17. Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	$8{,}6 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
18	Сценарий 18. Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$4{,}5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
19	Сценарий 19. Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	$8{,}6 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
20	Сценарий 20. Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$4{,}5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
21	Сценарий 21. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
22	Сценарий 22. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
23	Сценарий 23. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
24	Сценарий 24. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$6{,}2 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
25	Сценарий 25. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака	$9{,}5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
26	Сценарий 26. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$6{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
27	Сценарий 27. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$3{,}1 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
28	Сценарий 28. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара	$1{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$

	резервуара №1 по всей поверхности	
29	Сценарий 29. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$1{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
30	Сценарий 30. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$8{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
31	Сценарий 31. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
32	Сценарий 32. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$8{,}6 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
33	Сценарий 33. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина без возникновения вторичных пожаров	$1{,}8 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
34	Сценарий 34. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина, с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$9{,}2 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
35	Сценарий 35. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака	$6{,}9 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
36	Сценарий 36. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$4{,}6 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
37	Сценарий 37. Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	$8{,}6 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
38	Сценарий 38. Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$4{,}5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
39	Сценарий 39. Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Пожар резервуара №1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	$8{,}6 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
40	Сценарий 40. Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Пожар резервуара №1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$4{,}5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
41	Сценарий 41. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
42	Сценарий 42. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$8{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
43	Сценарий 43. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожа-	$8{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$

	ра резервуара №2 по всей поверхности	
44	Сценарий 44. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$4{,}4 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
45	Сценарий 45. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Взрыв паровоздушного облака	$6{,}7 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
46	Сценарий 46. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$4{,}5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
47	Сценарий 47. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$6{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
48	Сценарий 48. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$3{,}5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
49	Сценарий 49. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$3{,}5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
50	Сценарий 50. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$1{,}8 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
51	Сценарий 51. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака	$2{,}8 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
52	Сценарий 52. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$1{,}9 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
53	Сценарий 53. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$2{,}6 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
54	Сценарий 54. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$1{,}4 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
55	Сценарий 55. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$1{,}4 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
56	Сценарий 56. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$7{,}3 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
57	Сценарий 57. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Взрыв паровоздушного облака	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
58	Сценарий 58. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$7{,}5 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$

59	Сценарий 59. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$1{,}1\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$
60	Сценарий 60. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$5{,}9\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$
61	Сценарий 61. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$5{,}9\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$
62	Сценарий 62. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$3{,}1\cdot10^{-9}$ год$^{-1}$
63	Сценарий 63. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака	$4{,}7\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$
64	Сценарий 64. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$3{,}2\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$
65	Сценарий 65. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	$2{,}8\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$
66	Сценарий 66. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	$1{,}5\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$
67	Сценарий 67. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	$1{,}5\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$
68	Сценарий 68. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров №1 и №2 по всей поверхности	$7{,}7\cdot10^{-10}$ год$^{-1}$
69	Сценарий 69. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Взрыв паровоздушного облака	$1{,}2\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$
70	Сценарий 70. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$7{,}7\cdot10^{-9}$ год$^{-1}$

Результаты количественной оценки массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций, полученные в расчете, приведенном в Пособии, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты количественной оценки массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Начальная высота столба жидкости в резервуаре, h_0	10,9 м
2	Значение параметра a/h_0	0,32
3	Доля перелившегося через обвалование (ограждение) бензина	38 %
4	Количество перелившегося через обвалование (ограждение) парка бензина, $V_{бенз.перелив}$	3 800 м^3
5	Площадь поверхности испарения, F_{R1}	7 000 м^2
6	Площадь пролива указанного выше количества бензина за пределами обвалования (ограждения) парка, $F_{ПРХ}$	76 000 м^2
7	Площадь очага пожара, F_2	83 000 м^2
8	Площадь очага пожара в случае пожара резервуара, F_3	918,6 м^2
9	Площадь поверхности испарения при полном разрушении резервуара	83 000 м^2
10	Продолжительность испарения, T	3 600 сек
11	Давление насыщенного пара бензина при расчетной температуре, P_H	39,3 кПа
12	Интенсивность испарения бензина, W	$3{,}84 \cdot 10^{-4}$ кг/(м^2·с)
13	Масса паров бензина, поступивших в атмосферу, в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования, M_1	9 677 кг
14	Масса паров бензина, поступивших в атмосферу, в результате испарения с поверхности для случая пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование, M_2	114 700 кг
15	Площадь пролива в случае пожара резервуара по всей поверхности	918 ,6 м^2

Результаты определения интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров, полученные в примере расчета, приведенного в Пособии, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчета интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Эффективный диаметр пролива, d	34,2 м
2	Параметр u_*	10,83
3	Длина пламени, L	61,13
4	Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра, Θ	1,262 рад.
5	Параметр a	3,575
6	Параметр b	2,17
7	Параметр A	1,112
8	Параметр B	2,486
9	Параметр C	1,159

10	Параметр D	0,607
11	Параметр E	-0,879
12	Параметр F	1,925
13	Фактор облученности вертикальной площадки, F_V	0,228
14	Фактор облученности вертикальной площадки, F_H	0,822
15	Угловой коэффициент облученности, F_q	0,853
16	Коэффициент пропускания атмосферы, τ	0,986
17	Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения, E_f	32,06
18	Интенсивность теплового излучения на расстоянии 20 м. от границы очага пожара (обвалования), при ветре со скоростью 20 м/с, q	26,96 кВт/м^2

Результаты определения максимальных горизонтальных размеров взрывоопасных зон, полученные в примере расчета, приведенного в Пособии, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета максимальных горизонтальных размеров взрывоопасных зон

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Плотность паров бензина при расчетной температуре, ρ_n	3,744 кг/м^3
2	Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования	101
3	Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование	228,5

Результаты определения параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака, полученные в примере расчета, приведенного в Пособии, представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты определения параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Масса паров бензина, поступившая в атмосферу, M_1	9 677 кг
2	Расстояние от обвалования	200 м
3	Класс вещества, способного к образованию горючих смесей с воздухом (Бензин)	3
4	Режим сгорания паровоздушного облака	Дефлаграция
5	Скорость фронта пламени	150-200 м/с
6	Видимая скорость фронта пламени, U	198,5 м/с
7	Расстояние от центра облака, R	231 м
8	Корректировочный параметр β	1
9	Удельное энерговыделение, $E_{уд}$	44

10	Величина энергозапаса, E	$8{,}516 \cdot 10^{-11}$ Дж
11	Безразмерное расстояние от центра облака, R_x	1,136
12	Степень расширения продуктов сгорания для паровоздушной смеси, σ	7
13	Величина безразмерного давления, P_{x1}	0,185
14	Параметр W	0,504
15	Величина безразмерного импульса фазы сжатия, I_{x1}	0,024
16	Величина избыточного давления, ΔP	$1{,}87 \cdot 10^{4}$ Па
17	Величина импульса фазы сжатия, I^{+}	1435 Па·с

Результаты вычисления потенциального и индивидуального пожарного риска на прилегающей территории вблизи объекта, полученные в примере расчета, приведенного в Пособии, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты вычисления потенциального и индивидуального пожарного риска на территории объекта

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Максимальное значение потенциального риска на территории резервуарного парка	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$
2	Величина индивидуального пожарного риска для персонала, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом парке	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$

Результаты вычисления индивидуального и социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта, полученные в примере расчета, приведенного в Пособии, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты вычисления индивидуального и социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Величина потенциального пожарного риска на расстоянии 3000 м от обвалования (ограждения) резервуарного парка	$7{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
2	Величина индивидуального пожарного риска, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом резервуарном парке, для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта	$7{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
3	Среднее число погибших людей в жилой зоне в результате реализации сценария Q_7 (на расстоянии 3 000 м от обвалования)	9,54

Результаты расчета в программе FireRisks

Данные по частотам реализации инициирующих событий для резервуаров и трубопроводов, принятых для расчета в программе FireRisks, приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Данные по частотам реализации инициирующих событий для резервуаров и трубопроводов, принятых для расчета в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 25 мм	$8{,}800 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
2	Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 100 мм	$1{,}200 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
3	Частота полного разрушения резервуара	$5{,}000 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
4	Частота возникновения пожара на дыхательной арматуре резервуара	$9{,}000 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
5	Частота возникновения пожара по всей поверхности резервуара	$9{,}000 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
6	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 12,5 мм	$3{,}100 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$
7	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 25 мм	$1{,}300 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$
8	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 50 мм	$5{,}200 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$
9	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 100 мм	$2{,}200 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$
10	Частота разрыва трубопровода по полному сечению	$4{,}200 \cdot 10^{-9}$ (год·м)$^{-1}$

Данные по условным вероятностям, принятым для расчета в программе *FireRisks*, приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Данные по условным вероятностям, принятым в расчетах

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Условная вероятность мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}$	0,150
2	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{посл.воспл.утеч.}}$	0,176
3	Условная вероятность мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{мгн.воспл.разр.}}$	0,200
4	Условная вероятность последующего воспламенения при отсут-	0,240

	ствии мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{посл.воспл.разр.}$	
5	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании паровоздушного облака и его последующем воспламенении для всех типов утечек из резервуаров и трубопроводов, $P_{обр.изб.давл.}$	0,600
6	Данные по вероятности успешного срабатывания различных систем противоаварийной и противопожарной защиты, $P_{ор.}$	0,950
7	Данные по метеорологическим условиям в районе местонахождения объекта, $P_{штиля}$	0,120

Перечень пожароопасных ситуаций, пожаров, сценариев их развития и частот реализации, принятых для расчета в программе *FireRisks*, приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень пожароопасных ситуаций, пожаров, сценариев их развития и частот реализации, принятых в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Сценарий 1. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$1{,}320 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
2	Сценарий 2. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$6{,}319 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
3	Сценарий 3. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака	$9{,}479 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
4	Сценарий 4. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$1{,}159 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
5	Сценарий 5. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$1{,}800 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
6	Сценарий 6. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$8{,}617 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
7	Сценарий 7. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака	$1{,}293 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
8	Сценарий 8. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$1{,}580 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
9	Сценарий 9. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$1{,}000 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$

10	Сценарий 10. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$4{,}608 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
11	Сценарий 11. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака	$6{,}912 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
12	Сценарий 12. Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$8{,}448 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
13	Сценарий 13. Возникновение пожара резервуара по всей поверхности резервуара.	$9{,}000 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
14	Сценарий 14. Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Пожар пролива бензина по всей поверхности резервуара.	$9{,}000 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$
15	Сценарий 15. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$9{,}300 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
16	Сценарий 16. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$4{,}452 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
17	Сценарий 17. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Взрыв паровоздушного облака	$6{,}678 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
18	Сценарий 18. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$8{,}162 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
19	Сценарий 19. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$3{,}900 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
20	Сценарий 20. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$1{,}867 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
21	Сценарий 21. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака	$2{,}801 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
22	Сценарий 22. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$3{,}423 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
23	Сценарий 23. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$1{,}560 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
24	Сценарий 24. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$7{,}468 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
25	Сценарий 25. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Взрыв	$1{,}120 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$

	паровоздушного облака	
26	Сценарий 26. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$1{,}369 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$
27	Сценарий 27. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$6{,}600 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
28	Сценарий 28. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$3{,}160 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
29	Сценарий 29. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака	$4{,}739 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
30	Сценарий 30. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$5{,}793 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
31	Сценарий 31. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива бензина в обваловании при мгновенном воспламенении.	$1{,}680 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
32	Сценарий 32. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	$7{,}741 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
33	Сценарий 33. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Взрыв паровоздушного облака	$1{,}161 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
34	Сценарий 34. Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива бензина в обваловании при последующем воспламенении.	$1{,}419 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$

В разделе 4 настоящего исследования было упомянуто об особенностях обобщения и формирования сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров). Так, из таблицы 15 следует, что в программе *FireRisks* для рассматриваемого резервуара принято 14 сценариев, а в примере Пособия – 20. Это связано с тем, что в примере Пособия сценарии, связанные с пожаром пролива, разделяются на 4 отдельных, в зависимости от каскадного развития ситуации:

- пожар пролива в обваловании без возникновения вторичных пожаров;

- пожар пролива в обваловании с возникновения вторичного пожара на поверхности резервуара № 1;

- пожар пролива в обваловании с возникновения вторичного пожара на поверхности резервуара № 2;

- пожар пролива в обваловании с возникновения вторичных пожара на поверхности резервуаров № 1 и № 2.

При этом, в пособии указано, что для каждого из этих случаев площадь пожара пролива принимается равной площади обвалования. Следовательно, сценарии являются равнозначными и отличаются только вероятностью возникновения. Таким образом, если объединить каскадные сценарии в одну группу, итоговое количество равно 11.

В программе *FireRisks* рассматриваются окончательные события в каждой ветке дереве по отдельности, поэтому пожар пролива, происходящий при мгновенном воспламенении и пожар пролива происходящий при последующим воспламени являются разными сценариями, с точки зрения программы. Таким образом, если объединить равнозначные сценарии в каждой ветки дерева, итоговое количество равно 11.

Данные утверждения справедливы и для сценариев, связанных с трубопроводом. Соответствие между сценариями установлено и приводится при сравнении результатов в таблице 24.

Результаты количественной оценки массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций, полученные в программе *FireRisks*, представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты количественной оценки массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций, полученные в расчете в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Значение параметра a/h_0	0,321
2	Доля перелившегося через обвалование (ограждение) бензина	38 %
3	Количество перелившегося через обвалование (ограждение) парка бензина, $V_{бенз.перелив}$	3 800 м^3
4	Площадь поверхности испарения, $F_{ПР}$	7 000 м^2

5	Площадь пролива указанного выше количества бензина за пределами обвалования (ограждения) парка, $F_{ПР}$	76 000 м^2
6	Площадь очага пожара, F_2	83 000 м^2
7	Площадь очага пожара в случае пожара резервуара, F_3	918,633 м^2
8	Площадь поверхности испарения при полном разрушении резервуара	83 000 м^2
9	Продолжительность испарения, T	3 600 сек
10	Давление насыщенного пара бензина при расчетной температуре, P_H	39,284 кПа
11	Интенсивность испарения бензина, W	$3{,}835 \cdot 10^{-4}$ кг/(м^2·с)
12	Масса паров бензина поступивших в атмосферу в результате испарения с поверхности для пролива бензина в пределах обвалования, M_1	9 664,224 кг
13	Масса паров бензина поступивших в атмосферу в результате испарения с поверхности для случая пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование, M_2	114 700 кг
14	Площадь пролива в случае пожара резервуара по всей поверхности	918 ,633 м^2

Результаты определения интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров, полученные в программе *FireRisks*, представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчета интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров, полученные в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Эффективный диаметр пролива, d	34,209 м
2	Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения, E_f	32,054
3	Параметр u_*	11,06
4	Длина пламени, L	61,086
5	Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра, Θ	1,265 рад.
6	Интенсивность теплового излучения на расстоянии 20 м. от границы очага пожара (обвалования), при ветре со скоростью 20 м/с, q	26,81 кВт/м^2

Результаты определения максимальных горизонтальных размеров взрывоопасных зон, полученные в программе *FireRisks*, представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты расчета максимальных горизонтальных размеров взрывоопасных зон, полученные в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Плотность паров бензина при расчетной температуре, ρ_n	3,744 кг/м^3
2	Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования	101,01

3	Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование	228,44

Результаты определения параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака, полученные в программе *FireRisks*, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Результаты определения параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака, полученные в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Массы паров бензина поступившая в атмосферу, M_1	9 664,224 кг
2	Класс вещества, способного к образованию горючих смесей с воздухом (Бензин)	3
3	Режим сгорания паровоздушного облака	Дефлаграция
4	Скорость фронта пламени	150-200 м/с
5	Видимая скорость фронта пламени расчетная, U	198,455 м/с
6	Видимая скорость фронта пламени принятая, U	200 м/с
7	Удельное энерговыделение, $E_{уд}$	44
8	Величина энергозапаса, E	$8{,}50 \cdot 10^{-11}$ Дж
9	Расстояние от центра облака, R	231 м
10	Величина избыточного давления, ΔP	$1{,}862 \cdot 10^{4}$ Па
11	Величина импульса фазы сжатия, I^{+}	1430 Па·с

Результаты вычисления потенциального и индивидуального пожарного риска на территории объекта, полученные в программе FireRisks, представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Результаты вычисления потенциального и индивидуального пожарного риска на территории объекта, полученные в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Максимальное значение потенциального риска на территории резервуарного парка	$3{,}544 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$
2	Величина индивидуального пожарного риска для персонала, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом парке	$4{,}252 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$

Результаты вычисления индивидуального и социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта, полученные в программе FireRisks, представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Результаты вычисления индивидуального и социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта, полученные в программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Величина потенциального пожарного риска на расстоянии 3000 м от обвалования (ограждения) резервуарного парка	$7{,}321 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
2	Величина индивидуального пожарного риска, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом резервуарном парке, для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта	$7{,}321 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$
3	Среднее число погибших людей в жилой зоне в результате реализации сценария Q_7 (на расстоянии 3 000 м от обвалования)	10

Сравнение полученных результатов

В таблице 22 приведены результаты сравнения данных по частотам реализации инициирующих событий для резервуаров и трубопроводов.

Таблица 22 – Сравнение принятых данных по частотам реализации инициирующих событий для резервуаров и трубопроводов

№ п/п	Наименование параметра	Данные по Пособию	Данные в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 25 мм	$8{,}8 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	$8{,}800 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	0
2	Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 100 мм	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	$1{,}200 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	0
3	Частота полного разрушения резервуара	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$	$5{,}000 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$	0
4	Частота возникновения пожара на дыхательной арматуре резервуара	$9{,}0 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	$9{,}000 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	0
5	Частота возникновения пожара по всей поверхности резервуара	$9{,}0 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	$9{,}000 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	0
6	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 12,5 мм	$3{,}1 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$	$3{,}100 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$	0
7	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 25 мм	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$	$1{,}300 \cdot 10^{-7}$ (год·м)$^{-1}$	0
8	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 50 мм	$5{,}2 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$	$5{,}200 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$	0
9	Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 100	$2{,}2 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$	$2{,}200 \cdot 10^{-8}$ (год·м)$^{-1}$	0

	мм			
10	Частота разрыва трубопровода по полному сечению	$4{,}2 \cdot 10^{-9}$ (год·м)$^{-1}$	$4{,}200 \cdot 10^{-9}$ (год·м)$^{-1}$	0

В таблице 23 представлены результаты сравнения данных условным вероятностям, принятым для расчетов.

Таблица 23 – Данные по условным вероятностям, принятым в расчетах

№ п/п	Наименование параметра	Данные по Пособию	Данные в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Условная вероятность мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}$	0,150	0,150	0
2	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{посл.воспл.утеч.}}$	0,176	0,176	0
3	Условная вероятность мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{мгн.воспл.разр.}}$	0,200	0,200	0
4	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, $P_{\text{посл.воспл.разр.}}$	0,240	0,240	0
5	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании паровоздушного облака и его последующем воспламенении для всех типов утечек из резервуаров и трубопроводов, $P_{\text{обр.изб.давл.}}$	0,600	0,600	0
6	Данные по вероятности успешного срабатывания различных систем противоаварийной и противопожарной защиты, $P_{\text{ор.}}$	0,950	0,950	0
7	Данные по метеорологическим условиям в районе местонахождения объекта, $P_{\text{штиля}}$	0,120	0,120	0

В таблице 24 представлены результаты сравнения данных по принятым частотам реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций.

Таблица 24 – Сравнение данных по принятым частотам реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций

№ п/п	Наименование сценариев по Пособию	Суммарная вероятность, год$^{-1}$	Наименование сценариев в *FireRisks*	Суммарная вероятность, год$^{-1}$	Расхождение, %
1	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 1-4.	$2{,}2\cdot10^{-5}+1{,}2\cdot10^{-6}+1{,}2\cdot10^{-6}+6{,}2\cdot10^{-8}=2{,}4462\cdot10^{-5}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 1, 4.	$1{,}320\cdot10^{-5}+1{,}159\cdot10^{-5}=2{,}479\cdot10^{-5}$	1,34
2	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 5.	$9{,}5\cdot10^{-7}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий 3.	$9{,}479\cdot10^{-7}$	- 0,22
3	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 6.	$6{,}3\cdot10^{-7}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий 2.	$6{,}319\cdot10^{-7}$	0,30
4	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 7-10.	$3{,}1\cdot10^{-6}+1{,}6\cdot10^{-7}+1{,}6\cdot10^{-7}+8{,}4\cdot10^{-9}=3{,}4284\cdot10^{-6}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 5, 8.	$1{,}800\cdot10^{-6}+1{,}580\cdot10^{-6}=3{,}380\cdot10^{-6}$	- 1,41
5	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 11.	$1{,}3\cdot10^{-7}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий 7.	$1{,}293\cdot10^{-7}$	- 0,54
6	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 12.	$8{,}6\cdot10^{-8}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий 6.	$8{,}617\cdot10^{-8}$	0,20
7	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением.	$1{,}8\cdot10^{-6}+9{,}2\cdot10^{-8}=1{,}892\cdot10^{-6}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар	$1{,}000\cdot10^{-6}+8{,}448\cdot10^{-7}$	- 2,49

	Пожар пролива. Сценарии № 13-14		пролива. Сценарии № 9, 12	$=1,8448\cdot10^{-6}$	
8	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 15.	$6,9\cdot10^{-8}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 11.	$6,912\cdot10^{-8}$	0,17
9	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 16.	$4,6\cdot10^{-8}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 10.	$4,608\cdot10^{-8}$	0,17
10	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Сценарии № 17-18	$8,6\cdot10^{-5}+4,5\cdot10^{-6}=9,05\cdot10^{-5}$	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Сценарии № 13	$9,000\cdot10^{-5}$	- 0,55
11	Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Сценарии № 19-20	$8,6\cdot10^{-5}+4,5\cdot10^{-6}=9,05\cdot10^{-5}$	Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Сценарии № 14	$9,000\cdot10^{-5}$	- 0,55
12	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 21-24.	$2,2\cdot10^{-5}+1,2\cdot10^{-6}+1,2\cdot10^{-6}+6,2\cdot10^{-8}=2,4462\cdot10^{-5}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 1, 4.	$1,320\cdot10^{-5}+1,159\cdot10^{-5}=2,479\cdot10^{-5}$	1,34
13	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 25.	$9,5\cdot10^{-7}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий 3.	$9,479\cdot10^{-7}$	- 0,22
14	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 26.	$6,3\cdot10^{-7}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий 2.	$6,319\cdot10^{-7}$	0,30
15	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 27-30.	$3,1\cdot10^{-6}+1,6\cdot10^{-7}+1,6\cdot10^{-7}+8,4\cdot10^{-9}=3,4284\cdot10^{-6}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 5, 8.	$1,800\cdot10^{-6}+1,580\cdot10^{-6}=3,380\cdot10^{-6}$	- 1,41
16	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100	$1,3\cdot10^{-7}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истече-	$1,293\cdot10^{-7}$	- 0,54

	мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 31.		ния 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий 7.		
17	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 32.	$8{,}6\cdot10^{-8}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий 6.	$8{,}617\cdot10^{-8}$	0,20
18	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива. Сценарии № 33-34	$1{,}8\cdot10^{-6}+9{,}2\cdot10^{-8}=1{,}892\cdot10^{-6}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива. Сценарии № 9, 12	$1{,}000\cdot10^{-6}+8{,}448\cdot10^{-7}=1{,}8448\cdot10^{-6}$	- 2,49
19	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 35.	$6{,}9\cdot10^{-8}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 11.	$6{,}912\cdot10^{-8}$	0,17
20	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 36.	$4{,}6\cdot10^{-8}$	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 10.	$4{,}608\cdot10^{-8}$	0,17
21	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Сценарии № 37-38	$8{,}6\cdot10^{-5}+4{,}5\cdot10^{-6}=9{,}05\cdot10^{-5}$	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Сценарии № 13	$9{,}000\cdot10^{-5}$	- 0,55
22	Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Сценарии № 39-40	$8{,}6\cdot10^{-5}+4{,}5\cdot10^{-6}=9{,}05\cdot10^{-5}$	Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Сценарии № 14	$9{,}000\cdot10^{-5}$	- 0,55
23	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива. Сценарии № 41-44.	$1{,}6\cdot10^{-5}+8{,}3\cdot10^{-7}+8{,}3\cdot10^{-7}+4{,}4\cdot10^{-8}=1{,}7704\cdot10^{-5}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива. Сценарии № 15, 18.	$9{,}300\cdot10^{-6}+8{,}162\cdot10^{-6}=1{,}7462\cdot10^{-5}$	- 1,37
24	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 45.	$6{,}7\cdot10^{-7}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 17.	$6{,}678\cdot10^{-7}$	- 0,33
25	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия	$4{,}5\cdot10^{-7}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия исте-	$4{,}452\cdot10^{-7}$	- 1,07

	истечения 12,5 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 46.		чения 12,5 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 16.		
26	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 47-50.	$6,6\cdot10^{-7}+3,5\cdot10^{-7}+3,5\cdot10^{-7}+1,8\cdot10^{-8}=1,378\cdot10^{-6}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 19, 22.	$3,900\cdot10^{-6}+3,423\cdot10^{-6}=7,323\cdot10^{-6}$	431,42
27	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 51.	$2,8\cdot10^{-7}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 21.	$2,801\cdot10^{-7}$	0,04
28	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 52.	$1,9\cdot10^{-7}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 20.	$1,867\cdot10^{-7}$	- 1,74
29	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива. Сценарии № 53-56.	$2,6\cdot10^{-6}+1,4\cdot10^{-7}+1,4\cdot10^{-7}+7,3\cdot10^{-9}=2,8873\cdot10^{-6}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива. Сценарии № 23, 26.	$1,560\cdot10^{-6}+1,369\cdot10^{-6}=2,929\cdot10^{-6}$	1,44
30	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 57.	$1,1\cdot10^{-7}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 25.	$1,120\cdot10^{-7}$	1,82
31	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 58.	$7,5\cdot10^{-8}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 24.	$7,468\cdot10^{-8}$	- 0,43
32	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 59-62.	$1,1\cdot10^{-6}+5,9\cdot10^{-8}+5,9\cdot10^{-8}+3,1\cdot10^{-9}=1,2211\cdot10^{-6}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 27, 30.	$6,600\cdot10^{-7}+5,793\cdot10^{-7}=1,2393\cdot10^{-6}$	1,49

33	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 63.	$4{,}7\cdot10^{-8}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 29.	$4{,}739\cdot10^{-8}$	0,83
34	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 64.	$3{,}2\cdot10^{-8}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 28.	$3{,}160\cdot10^{-8}$	- 1,25
35	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарии № 65-68.	$2{,}8\cdot10^{-7}+1{,}5\cdot10^{-8}+1{,}5\cdot10^{-8}+7{,}7\cdot10^{-9}=3{,}177\cdot10^{-7}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарии № 31,34.	$1{,}680\cdot10^{-7}+1{,}419\cdot10^{-7}=3{,}099\cdot10^{-7}$	- 2,46
36	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарий № 69.	$1{,}2\cdot10^{-8}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарий № 33.	$1{,}161\cdot10^{-8}$	- 3,25
37	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарий № 70.	$7{,}7\cdot10^{-9}$	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарий № 32.	$7{,}741\cdot10^{-9}$	0,53

В таблице 25 представлены результаты сравнения, по количественной оценке, массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций.

Таблица 25 – Сравнение результатов количественной оценки массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций

№ п/п	Наименование параметра	Расчет по Пособию	Расчет в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Значение параметра a/h_0	0,32	0,321	0,31
2	Доля перелившегося через обвалование (ограждение) бензина	38 %	38 %	0
3	Количество перелившегося через обвалование (ограждение) парка бензина, $V_{бенз.перелив}$	3 800 м^3	3 800 м^3	0
4	Площадь поверхности испарения	7 000 м^2	7 000 м^2	0
5	Площадь пролива указанного выше количества бензина за пределами обвалования (ограждения) парка	76 000 м^2	76 000 м^2	0
6	Площадь очага пожара	83 000 м^2	83 000 м^2	0
7	Площадь очага пожара в случае пожара резервуара	918,6 м^2	918,633 м^2	0,004
8	Площадь поверхности испарения при полным разрушением резервуаре	83 000 м^2	83 000 м^2	0
9	Продолжительность испарения, T	3 600 сек	3 600 сек	0
10	Давление насыщенного пара бензина при расчетной температуре, P_H	39,3 кПа	39,284 кПа	- 0,04
11	Интенсивность испарения бензина, W	$3{,}84 \cdot 10^{-4}$ кг/(м^2·с)	$3{,}835 \cdot 10^{-4}$ кг/(м^2·с)	- 0,13
12	Масса паров бензина, поступивших в атмосферу, в результате испарения с поверхности пролива бензина, в пределах обвалования, M_1	9 677 кг	9 664,224 кг	- 0,13
13	Масса паров бензина, поступивших в атмосферу, в результате испарения с поверхности, для случая пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование	114 700 кг	114 700 кг	0

В таблице 23 приведены результаты сравнения расчетов интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров.

Таблица 26 – Сравнение результатов расчета интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров

№ п/п	Наименование параметра	Расчет по Пособию	Расчет в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Эффективный диаметр пролива, d	34,2 м	34,209 м	0,03
2	Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения, E_f	32,06	32,054	-0,02
3	Параметр u_*	10,83	11,06	2,12
4	Длина пламени, L	61,13	61,086	- 0,07
5	Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра, Θ	1,262 рад.	1,265 рад.	0,24
6	Интенсивность теплового излучения на расстоянии 20 м. от границы очага пожара (обвалования), при ветре со скоростью 20 м/с, q	26,96 кВт/м^2	26,81 кВт/м^2	- 0,56

В таблице 27 представлены результаты сравнения расчетов максимальных горизонтальных размеров взрывоопасных зон.

Таблица 27 – Сравнение результатов расчета максимальных горизонтальных размеров взрывоопасных зон

№ п/п	Наименование параметра	Расчет по Пособию	Расчет в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Плотность паров бензина при расчетной температуре, ρ_n	3,744 кг/м^3	3,744 кг/м^3	0
2	Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования	101	101,01	0,01
3	Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование	228,5	228,44	- 0,03

В таблице 28 приведены результаты сравнения данных по определению параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака.

Таблица 28 – Сравнение результатов определения параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака

№ п/п	Наименование параметра	Расчет по Пособию	Расчет в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Масса паров бензина, поступившая в атмосферу	9 677 кг	9 664,224 кг	- 0,13
2	Класс вещества, способного к образованию горючих смесей с воздухом (Бензин)	3	3	0
3	Режим сгорания паровоздушного облака	Дефлаграция	Дефлаграция	0
4	Видимая скорость фронта пламени, U	198,5 м/с	198,455 м/с	- 0,02
5	Видимая скорость фронта пламени принятая, U	200 м/с	200 м/с	0
6	Удельное энерговыделение, $E_{уд}$	44	44	0
7	Величина энергозапаса, E	$8{,}516 \cdot 10^{-11}$ Дж	$8{,}516 \cdot 10^{-11}$ Дж	0
8	Величина избыточного давления на расстоянии 231 м., ΔP	$1{,}87 \cdot 10^{4}$ Па	$1{,}862 \cdot 10^{4}$ Па	- 0,43
9	Величина импульса фазы сжатия на расстоянии 231 м., I^{+}	1435 Па·с	1430 Па·с	- 0,35

В таблице 29 представлены результаты сравнения вычислений потенциального и индивидуального пожарного риска на территории объекта.

Таблица 29 – Сравнение результатов вычисления потенциального и индивидуального пожарного риска на территории объекта

№ п/п	Наименование параметра	Расчет по Пособию	Расчет в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Максимальное значение потенциального риска на территории резервуарного парка	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$	$3{,}544 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$	1,26
2	Величина индивидуального пожарного риска для персонала, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом парке	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	$4{,}252 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	1,24

В таблице 30 представлены результаты сравнения индивидуального и социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта.

Таблица 30 – Сравнение результатов вычисления индивидуального и социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта

№ п/п	Наименование параметра	Расчет по Пособию	Расчет в *FireRisks*	Расхождение, %
1	Величина потенциального пожарного риска на расстоянии 3000 м от обвалования (ограждения) ре-	$7{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$	$7{,}321 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$	- 1,07

	зервуарного парка			
2	Величина индивидуального пожарного риска, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом резервуарном парке, для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта	$7{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$	$7{,}321 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$	- 1,07
3	Среднее число погибших людей в жилой зоне, в результате реализации сценария «Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака» (на расстоянии 3 000 м от обвалования)	9,54	10	4,82

Таким образом, в ходе проведения сопоставления данных, приведенных в Пособии и результатов, полученных при расчете в программе FireRisks, определено процентное расхождение между данными для каждого расчетного примера из рассматриваемых в Пособии по тесту № 1 (таблица 1).

Полученные результаты требуют детального анализа, интерпретации и определения причин и условий возникших расхождений.

7 Обсуждение полученных результатов

В предыдущем разделе, на основании выявленных исходных данных в Пособии, проведено моделирование и расчет величин пожарного риска на территории производственного объекта в программе *FireRisks*. Проведено сопоставление с результатами примера из Пособия и, в определенных случаях, выявлено расхождение. Проведем анализ полученных результатов. 1,82 - 2,49

Результаты, приведенные в таблицах 20 и 21, показали, что частоты реализации инициирующих событий для резервуаров и трубопроводов и условные вероятности, в программе *FireRisks* приняты корректно, что подтверждается отсутствием расхождения.

Далее, в таблице 23 проведено сравнение расчетных данных по принятым частотам реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций. Результаты анализа показали наличие расхождение как в положительную, так и отрицательную сторону, в пределах от 1,82 % до - 3,25 %. А также, зафиксировано нетривиальное расхождение в строке 26 рассматриваемой таблицы, которое составило 431,42 %, что, безусловно, требует детального рассмотрения. Рассматриваемое расхождение было получено при вычислении частоты реализации сценариев № 47-50 Пособия. В таком случае, для оценки истинности данных необходимо провести вычисление вручную. Для этого вычислим на калькуляторе частоты сценариев № 47-50 Пособия, по выражениям, приведенным для их расчета в Пособии.

Частота реализации сценария №47 вычислялась по формуле (2):

$$Q_{47} = Q_{\text{разгермтруб.25мм}} \cdot L_{\text{труб}} \cdot \left(P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + \left(1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}\right) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч}}\right) \cdot P_{\text{ор.}} \cdot P_{\text{ор.}} =$$
$$1{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}95 = 6{,}60887 \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

Частота реализации сценария №48 вычислялась по формуле (3):

$$Q_{47} = Q_{\text{разгермтруб.25мм}} \cdot L_{\text{труб}} \cdot \left(P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + \left(1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}\right) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч}}\right) \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) \cdot P_{\text{ор.}} =$$
$$1{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot 0{,}95 = 3{,}47835 \cdot 10^{-7} \quad (3)$$

Частота реализации сценария №49 вычислялась по формуле (4):

$$Q_{47} = Q_{\text{разгермтруб.25мм}} \cdot L_{\text{труб}} \cdot \left(P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + \left(1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}\right) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч}}\right) \cdot P_{\text{ор.}} \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) =$$

$$1{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot 0{,}95 \cdot (1 - 0{,}95) = 3{,}47835 \cdot 10^{-7} \quad (4)$$

Частота реализации сценария №50 вычислялась по формуле (5):

$$Q_{47} = Q_{\text{разгермтруб.25мм}} \cdot L_{\text{труб}} \cdot \left(P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + \left(1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}\right) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч}}\right) \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) =$$

$$1{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot (1 - 0{,}95) = 1{,}83071 \cdot 10^{-8} \quad (5)$$

Обобщим полученные результаты расчетов в таблице 31.

Таблица 31 – Результаты расчета частот по формулам Пособия при ручном счете

№ п/п	Наименование сценария	Расчет в Пособии	Ручной счет по формуле пособия
1	Сценарий № 47	$6{,}6 \cdot 10^{-7}$	$6{,}60887 \cdot 10^{-6}$
2	Сценарий № 48	$3{,}5 \cdot 10^{-7}$	$3{,}47835 \cdot 10^{-7}$
3	Сценарий № 49	$3{,}5 \cdot 10^{-7}$	$3{,}47835 \cdot 10^{-7}$
4	Сценарий № 50	$1{,}8 \cdot 10^{-8}$	$1{,}83071 \cdot 10^{-8}$
Суммарная вероятность по сценариям № 47 - 50		$1{,}378 \cdot 10^{-6}$	$7{,}32285 \cdot 10^{-7}$

В ходе проверки данных установлено, что при расчете частоты реализации сценария № 47 допущена ошибка на один порядок. Кроме того, определено, что все значения частот реализации округлены до десятых. Совокупность этих фактов в конечном счете и привела к расхождению в 431,42 %. Так если сопоставить данные, полученные при расчете вручную ($7{,}32285 \cdot 10^{-7}$) и данные, полученные в программе *FireRisks* ($7{,}323 \cdot 10^{-6}$), расхождение составит 0,002 %, которое связано с тем, что округление в программе происходит до тысячных. Таким образом, считаем, что полученное расхождение является ложным, и связано с ошибкой при расчете в Пособии.

Результаты анализа данных таблицы 31 также показали, что результаты расчета в Пособии округляются вплоть до 10-х, а в программе *FireRisks* – до тысячных. Данное обстоятельство может служить причиной остальных расхождений, в пределах от 1,82 % до - 3,25 %. Это подтверждается опубликованными данными [19-21], которые утверждают, что внесенная погрешность при округлении до десятых может составлять до 4%.

Для проверки данной гипотезы произведен расчет вручную всех значений частот реализации, приведенных в Пособии, и сравнение полученных ре-

зультатов между собой. Обобщим полученные данные таким же образом, как и в таблице 24. Результаты расчетов и их сравнение приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Результаты расчета частот при ручном счете, по Пособию и программе *FireRisks*

№ п/п	Наименование сценария	Расчет в Пособии, год$^{-1}$	Ручной счет по формуле пособия, год$^{-1}$	Расчет в программе *FireRisks*, год$^{-1}$	Разница между расчетом в Пособии и ручном счете, %	Разница между расчетов в программе *FireRisks* и ручном счете, %
1	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 1-4.	$2{,}4462\cdot10^{-5}$	$2{,}4785\cdot10^{-5}$	$2{,}479\cdot10^{-5}$	-1,30	0,020
2	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 5.	$9{,}5\cdot10^{-7}$	$9{,}47866\cdot10^{-7}$	$9{,}479\cdot10^{-7}$	0,23	0,004
3	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 6.	$6{,}3\cdot10^{-7}$	$6{,}3191\cdot10^{-7}$	$6{,}319\cdot10^{-7}$	-0,30	-0,002
4	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 7-10.	$3{,}4284\cdot10^{-6}$	$3{,}37978\cdot10^{-6}$	$3{,}380\cdot10^{-6}$	1,44	0,007
5	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 11.	$1{,}3\cdot10^{-7}$	$1{,}29254\cdot10^{-7}$	$1{,}293\cdot10^{-7}$	0,58	0,035
6	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 12.	$8{,}6\cdot10^{-8}$	$8{,}61696\cdot10^{-8}$	$8{,}617\cdot10^{-8}$	-0,20	0,000
7	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива. Сценарии № 13-14	$1{,}892\cdot10^{-6}$	$1{,}8448\cdot10^{-6}$	$1{,}8448\cdot10^{-6}$	2,56	0,000
8	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 15.	$6{,}9\cdot10^{-8}$	$6{,}912\cdot10^{-8}$	$6{,}912\cdot10^{-8}$	-0,17	0,000
9	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 16.	$4{,}6\cdot10^{-8}$	$4{,}608\cdot10^{-8}$	$4{,}608\cdot10^{-8}$	-0,17	0,000
10	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Сценарии № 17-18	$9{,}05\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	0,56	0,000
11	Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Сценарии № 19-20	$9{,}05\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	0,56	0,000
12	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 21-24.	$2{,}4462\cdot10^{-5}$	$2{,}4785\cdot10^{-5}$	$2{,}479\cdot10^{-5}$	-1,30	0,020
13	Разгерметизация, характеризующаяся	$9{,}5\cdot10^{-7}$	$9{,}47866\cdot10^{-7}$	$9{,}479\cdot10^{-7}$	0,23	0,004

	диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 25.					
14	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 26.	$6{,}3\cdot10^{-7}$	$6{,}3191\cdot10^{-7}$	$6{,}319\cdot10^{-7}$	-0,30	-0,002
15	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 27-30.	$3{,}4284\cdot10^{-6}$	$3{,}37978\cdot10^{-6}$	$3{,}380\cdot10^{-6}$	1,44	0,007
16	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 31.	$1{,}3\cdot10^{-7}$	$1{,}29254\cdot10^{-7}$	$1{,}293\cdot10^{-7}$	0,58	0,035
17	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 32.	$8{,}6\cdot10^{-8}$	$8{,}61696\cdot10^{-8}$	$8{,}617\cdot10^{-8}$	-0,20	0,000
18	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Пожар пролива. Сценарии № 33-34	$1{,}892\cdot10^{-6}$	$1{,}8448\cdot10^{-6}$	$1{,}8448\cdot10^{-6}$	2,56	0,000
19	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 35.	$6{,}9\cdot10^{-8}$	$6{,}912\cdot10^{-8}$	$6{,}912\cdot10^{-8}$	-0,17	0,000
20	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 36.	$4{,}6\cdot10^{-8}$	$4{,}608\cdot10^{-8}$	$4{,}608\cdot10^{-8}$	-0,17	0,000
21	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности. Сценарии № 37-38	$9{,}05\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	0,56	0,000
22	Возникновение пожара на дыхательной арматуре. Сценарии № 39-40	$9{,}05\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	$9{,}000\cdot10^{-5}$	0,56	0,000
23	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Пожар пролива. Сценарии № 41-44.	$1{,}7704\cdot10^{-5}$	$1{,}74622\cdot10^{-5}$	$1{,}7462\cdot10^{-5}$	1,38	-0,001
24	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 45.	$6{,}7\cdot10^{-7}$	$6{,}67814\cdot10^{-7}$	$6{,}678\cdot10^{-7}$	0,33	-0,002
25	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 46.	$4{,}5\cdot10^{-7}$	$4{,}4521\cdot10^{-7}$	$4{,}452\cdot10^{-7}$	1,08	-0,002
26	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Пожар пролива. Сценарии № 47-50.	$7{,}318\cdot10^{-6}$	$7{,}32285\cdot10^{-6}$	$7{,}323\cdot10^{-6}$	-0,07	0,002
27	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 51.	$2{,}8\cdot10^{-7}$	$2{,}80051\cdot10^{-7}$	$2{,}801\cdot10^{-7}$	-0,02	0,017
28	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожа-	$1{,}9\cdot10^{-7}$	$1{,}86701\cdot10^{-7}$	$1{,}867\cdot10^{-7}$	1,77	0,000

	ра-вспышки. Сценарий № 52.					
29	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Пожар пролива. Сценарии № 53-56.	$2{,}8873 \cdot 10^{-6}$	$2{,}92914 \cdot 10^{-6}$	$2{,}929 \cdot 10^{-6}$	-1,43	-0,005
30	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 57.	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$	$1{,}1202 \cdot 10^{-7}$	$1{,}120 \cdot 10^{-7}$	-1,80	-0,018
31	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 58.	$7{,}5 \cdot 10^{-8}$	$7{,}46803 \cdot 10^{-8}$	$7{,}468 \cdot 10^{-8}$	0,43	0,000
32	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Пожар пролива. Сценарии № 59-62.	$1{,}2211 \cdot 10^{-6}$	$1{,}23925 \cdot 10^{-6}$	$1{,}2393 \cdot 10^{-6}$	-1,46	0,004
33	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Взрыв паровоздушного облака. Сценарий № 63.	$4{,}7 \cdot 10^{-8}$	$4{,}73933 \cdot 10^{-8}$	$4{,}739 \cdot 10^{-8}$	-0,83	-0,007
34	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм. Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки. Сценарий № 64.	$3{,}2 \cdot 10^{-8}$	$3{,}15955 \cdot 10^{-8}$	$3{,}160 \cdot 10^{-8}$	1,28	0,014
35	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарии № 65-68.	$3{,}177 \cdot 10^{-7}$	$3{,}09926 \cdot 10^{-7}$	$3{,}099 \cdot 10^{-7}$	0,27	-0,009
36	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарий № 69.	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$1{,}16122 \cdot 10^{-8}$	$1{,}161 \cdot 10^{-8}$	3,34	-0,019
37	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом). Пожар пролива. Пожар пролива. Сценарий № 70.	$7{,}7 \cdot 10^{-9}$	$7{,}74144 \cdot 10^{-9}$	$7{,}741 \cdot 10^{-9}$	-0,54	-0,006
38	Максимальное положительное расхождение, %				3,34	0,04
39	Максимальное отрицательное расхождение, %				-1,8	-0,02

Результаты анализа представленных данных подтвердили ранее высказанное предположение о влиянии округления на процент расхождения результатов. Сравнение результатов расчета в Пособии и при ручном счете показали практически схожее отклонение от -1,8% до 3,34 %, как и в случае сравнения результатов программы *FireRisks*, где отклонение расхождения составляло от 1,82 % до - 3,25 %. В таком случае, если принять за эталонные данные результаты ручного расчета, то расхождение с данными программы *FireRisks* составят от -0,02 % до 0,04 %. Это связано с тем, что округление

данных в программе *FireRisks* осуществляется до тысячных, а последняя значимая цифра при ручном счете была десятитысячная. В целом, расхождение в 0,04% можно считать удовлетворительным. Тем не менее, необходимо отметить, что в дальнейшем сопоставлении данных возможны такие же отклонения в пределах от 1,82 % до - 3,25 %, так как ряд из параметров рассчитывается на основании частот реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций, в которых, как показано, вложена погрешность округления. В связи с этим, учитывая способ округления результатов в Пособии, в ходе дальнейшего анализа, расхождения в диапазоне ± 3 % детально рассматриваться не будут.

Результаты, приведенные в таблице 25, показали, что расхождения между данными находятся в диапазоне от - 0,13 % до 0,31 %. В целом, эти расхождения не значительны, и связаны, как и в предыдущих расчетах, с округлением получаемых результатов.

Результаты, приведенные в таблице 26, показали, что расхождения между данными находятся в диапазоне от - 0,56 % до 2,12 %. Расхождения не значительны, и связаны, как и в предыдущих расчетах, с округлением получаемых результатов.

Результаты, приведенные в таблице 27, показали, что расхождения между данными находятся в диапазоне от - 0,03 % до 0,01 %. Расхождения не значительны, и связаны, как и в предыдущих расчетах, с округлением получаемых результатов.

Результаты, приведенные в таблице 28, показали, что расхождения между данными находятся в диапазоне от - 0,43 % до - 0,02 %. Расхождения не значительны, и связаны, как и в предыдущих расчетах, с округлением получаемых результатов.

Результаты, приведенные в таблице 29, показали, что расхождения между данными практически идентичны для двух случаев и составляют - 1,26 % и 1,24 % соответственно. Расхождения не значительны, и связаны, как и в предыдущих расчетах, с округлением получаемых результатов. Ввиду то-

го, что рассмотренные данные (потенциальный и индивидуальный пожарные риски) являются основным результатом и целью определения величин пожарного риска, проведем сравнение с результатами ручного расчета. Для этого выполним расчет величин риска по формулам, приведенным в Пособии. В качестве частоты реализации для данного расчета, примем ранее полученные результаты, приведенные в таблице 32. За эталонные данные примем результаты ручного счета. Результаты расчета и их сопоставление показаны на рисунке 1.

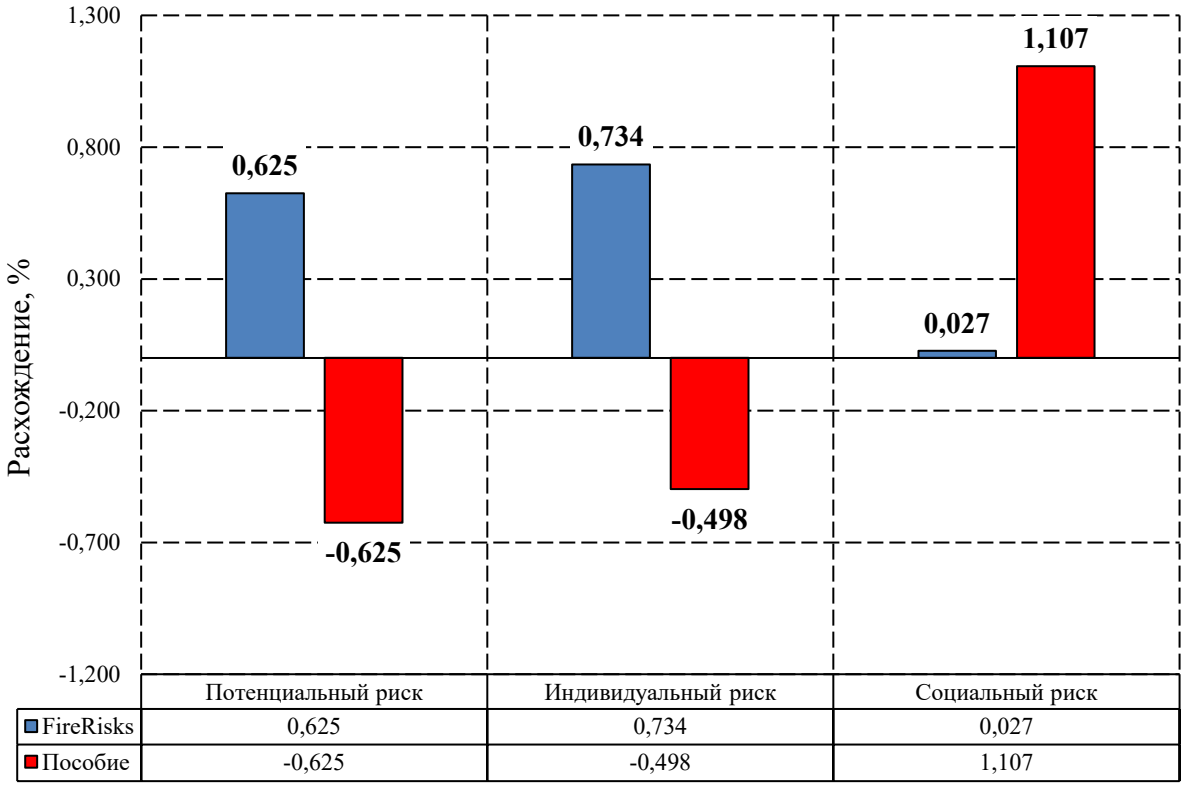

Рисунок 1 – Данные процентного расхождения результатов расчета величин пожарного риска между *FireRisks*, Пособию и данными ручного счёта

Данные на рисунке 1 свидетельствуют, что итоговые значения величин риска программы *FireRisks* имеют расхождения с данными ручного счета в диапазоне от 0,027 % до 0,734 %. При этом необходимо отметить, что расхождение положительное, т.е. величины риска выше расчетных. Сравнение с данными Пособия показали, что отклонение находится в диапазоне от - 0,625 % до 1,107 %.

Результаты, приведенные в таблице 30, показали, что расхождения между данными одинаковы, и составляют - 1,07 %. Однако в п. 3 таблицы выявлено расхождение равное 4,82%. В данном пункте приводятся результаты расчета среднего числа погибших людей в жилой зоне в результате реализации сценария «Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением. Взрыв паровоздушного облака» (на расстоянии 3 000 м от обвалования). Так, по данным Пособия это значение равно 9,54, а в программе *FireRisks* – 10,00. Это расхождение обусловлено следующим. В программе данный показатель, как и все предыдущие, рассчитывается с точностью до тысячных, а в целях удобства восприятия и логики, все показатели, связанные с число погибших, округляются в большую сторону целого числа.

8 Выводы по результатам исследования

В ходе проведения исследования проведена верификация и валидация программы определения величин пожарного риска на территории производственного объекта *FireRisks*.

В ходе исследования решены поставленные задачи и достигнута цель исследования, а именно определена степень достоверности результатов расчетов программы *FireRisks*.

Полученные результаты позволяют утверждать следующее.

Во-первых, в программе *FireRisks* корректно и без ошибок реализованы математические модели и алгоритмы расчета, установленные в Методике расчетных величин пожарного риска на производственных объектах и её приложениях [14]. Данное утверждение подтверждается согласованностью и непротиворечивостью полученных результатов.

Во-вторых, точность результатов расчета в программе *FireRisks* равна 99,27 % (максимальное расхождение составляет 0,73 %) в сравнении с ручным подсчетом. Этот факт подтверждается проведенным, в ходе исследования, сравнением результатов ручного подсчета и результатов программы *FireRisks*. Расхождение в результатах связанно с процедурой округления. Расхождение может быть нивелировано при увеличении порядка округления в программе до ста тысячных, либо повторным расчетом с полностью описанными исходными данными и промежуточными результатами расчетов.

В-третьих, установлено, что в качестве эталонных данных должны выступать результаты ручного расчета без округления. Так, расхождение между результатами из примера Пособия и результатами программы *FireRisks* связаны именно с тем, что при в примере пособия округление, как правило, происходило до десятых, что в сумме давало внесенную погрешность в диапазоне от - 3,25 % до 2,12 %.

Заключение

Современное программное обеспечение, применяемое для решения инженерных задач обеспечения пожарной безопасности, относится к классу программ, к которым предъявляются требования повышенной надежности, так как результаты расчетов таких программ могут привести к гибели и травмированию людей, крупным финансовым потерям, ущербу окружающей среде и др. Поэтому достоверность и надежность такого программного обеспечения является их главным и определяющим свойством.

Настоящее исследование и полученные в ходе него результаты позволяют утверждать, что программа определения величин пожарного риска на территории производственного объекта *FireRisks* является достоверной и надежной, и может применяться для решения задач обеспечения пожарной безопасности на объектах производственного назначения.

Список литературы

1. ISO/IEC 26514:2008 Systems and Software Engineering — Requirements for designers and developers of user documentation

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015 Информационные технологии (ИТ). Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов.

3. Плотников А.Н., Плотников Д.А., Опанасенко И.А. Существующие стандарты оценки качества технологий разработки программного обеспечения" / Вестник Саратовского государственного технического университета // Вып. 4 (73), № 1, 2013, сс. 327-329.

4. Bowen J., Stavridou V. (1993). Safety-critical systems, formal methods and standards. Software Engineering Journal, 8(4), 189. DOI:10.1049/sej.1993.0025.

5. Knight J. C. Safety critical systems: challenges and directions // Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering. ICSE 2002, Orlando, FL, USA, 2002, pp. 547-550.

6. Douthwaite M., Kelly T. Establishing Verification and Validation Objectives for Safety-Critical Bayesian Networks // Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW) 2017 IEEE International Symposium on, pp. 302-309, 2017.

7. Тэллес М., Юань Х. Наука отладки // М.: Кудиц-Образ, 2003. — С. 41—44. — 560 с. — ISBN 0-7897-2594-0.

8. Льюис Д. Н., Постол Т. А. Определение эффективности зенитных ракет "Патриот" во время войны в Персидском заливе 1991 года по данным телевизионных видеосюжетов // Наука и всеобщая безопасность, т. 4, №1, 1993. сс. 1-63. http://www-users.math.umn.edu/~arnold/disasters/patriot.html

9. Soereide, T.H., Jersin, E. Sleipner A GBS Loss // Report 16, Quality Assurance. SINTEF. 1997 p. 24. ISBN 82-14-00444-6.

10. SWEBOK, IEEE 1059-93 "IEEE Guide for Software Verification and Validation Plans".

11. Sommerville I. Software Engineering, 8th ed. Harlow, England: Pearson Education, 2007.

12. Козлов А.О. Методическое обеспечение оценки надежности программного обеспечения информационных систем образовательного назначения: дис. … канд. техн. наук: / Козлов Алексей Олегович. – М., 2004. – 128 с.

13. IEEE 1012-2012 Standard for System and Software Verification and Validation. 2012. DOI:10.1109/IEEESTD.2012.6204026. ISBN 978-0-7381-7268-2.

14. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2020.

15. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2020.

16. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов // – М.: ВНИИПО МЧС России, 2012. – 242 с.

17. Якушев А. И., Воронцов Л. Н., Федотов Н. М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения // 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.

18. Деденко Л. Г., Керженцев В. В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента // М.: МГУ, 1977. — 111 с.

19. Боровкова Т. В. Методика определения погрешности измерения температуры с помощью термопар в элементах конструкций из неметаллических функционально неразрушаемых материалов: дис. … канд. техн. наук: / Боровкова Татьяна Владимировна. – М., 2008. – 181 с.

20. Крупская Анна Вячеславовна. Алгоритмическое обеспечение средств измерений с метрологическим самоконтролем: дис. … канд. техн. наук: / Боровкова Татьяна Владимировна. – М., 2017. – 110 с.

21. Жуков В.К. Теория погрешностей технических измерений: учебное пособие // - Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 180 с.