FireRisks

Отчёт

по определению расчетных величин пожарного риска на производственном объекте

АЗС № 125

Южная дом 1

Расчет выполнил:

Иванов Николай Владимирович

Содержание

Содержание 2
Введение 3
Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах ... 5
Описание объекта защиты 24
Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации 25
Результаты проведения расчетов по оценке пожарного риска 28
Расчет значений потенциального риска для объекта "ТРК Nova" 28
Расчет параметров пожароопасных событий для объекта ТРК Nova при его нахождении на свободной площадке 28
Расчет значений потенциального риска для объекта "Автоцистерна" 53
Расчет параметров пожароопасных событий для объекта Автоцистерна при его нахождении на свободной площадке 55
Вывод об условиях соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности 63
Литература 64

Введение

Оценка пожарного риска проводится в целях определения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности в порядке, установленном Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Оценка пожарного риска проводится путем определения расчетных величин пожарного риска на объекте защиты и сопоставления их с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей. Расчет пожарного риска производится в соответствии с «Методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденной приказом МЧС России № 404 от 10.07.2009 г., с учетом изменений в соответствии с приказами № 649 от 10.12.2010 г.

Результаты расчётного обоснования величины пожарного риска на объекте защиты: «АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1» распространяются только на решения и мероприятия, описанные в представленной технической документации. Ответственность за достоверность представленной технической документации для разработки расчётного обоснования величин пожарных рисков на объекте защиты: «АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1», несёт Заказчик.

В случае внесения Заказчиком изменений и дополнений в проектные материалы или при отступлениях от проектных решений, настоящее расчётное обоснование величины пожарного риска на объект защиты: «АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1» утрачивает свою силу и подлежит

переработке с учётом внесённых изменений и дополнений.

Результаты расчётов, изложенные в данном документе, распространяются только на «АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1».

Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах

I. Общие положения

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (далее - Методика) устанавливает порядок расчета величин пожарного риска на производственных объектах (далее - объект).

Положения Методики не распространяются на определение расчетных величин пожарного риска на производственных объектах специального назначения, в том числе объектах военного назначения, объектах производства, переработки, хранения радиоактивных и взрывчатых веществ и материалов, объектах уничтожения и хранения химического оружия и средств взрывания, наземных космических объектах и стартовых комплексах, горных выработках, объектах, расположенных в лесах.

2. Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее - Технический регламент).

3. Определение расчетных величин пожарного риска на объекте осуществляется на основании:

а) анализа пожарной опасности объекта;

б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;

в) построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;

г) оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на

людей для различных сценариев его развития;

д) наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

4. Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта и ее последствий для людей. Количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта является риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара, в том числе:

риск гибели работника объекта;

риск гибели людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта.

Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте характеризуется числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков.

5. Для целей Методики используются основные понятия, установленные статьей 2 Технического регламента.

II. Общие требования к определению расчетных величин пожарного риска

Анализ пожарной опасности объекта

6. Анализ пожарной опасности объекта предусматривает:

а) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте;

б) определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;

в) определение для каждого технологического процесса перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную;

г) построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей.

7. Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов предусматривает сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, с параметрами технологического процесса.

Перечень потенциальных источников зажигания пожароопасной технологической среды определяется посредством сопоставления параметров технологического процесса и иных источников зажигания с показателями пожарной опасности веществ и материалов.

8. Определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса осуществляется на основе анализа пожарной опасности каждого из технологических процессов, предусматривающего выбор ситуаций, при реализации которых возникает опасность для людей, находящихся в зоне поражения опасными факторами пожара, взрыва и сопутствующими проявлениями опасных факторов пожара.

Не подлежат рассмотрению ситуации, в результате которых не возникает опасность для жизни и здоровья людей. Эти ситуации не учитываются при расчете пожарного риска.

9. Для каждой пожароопасной ситуации на объекте приводится описание причин возникновения и развития пожароопасных ситуаций, мест их возникновения и факторов пожара, представляющих опасность для жизни и здоровья людей в местах их пребывания.

10. Для определения причин возникновения пожароопасных ситуаций рассматриваются события, реализация которых может привести к образованию горючей среды и появлению источника зажигания.

Наиболее вероятными событиями, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций на объектах, считаются следующие события:

выход параметров технологических процессов за критические

значения, который вызван нарушением технологического регламента (например, перелив жидкости при сливо-наливных операциях, разрушение оборудования вследствие превышения давления по технологическим причинам, появление источников зажигания в местах образования горючих газопаровоздушных смесей);

разгерметизация технологического оборудования, вызванная механическим (влияние повышенного или пониженного давления, динамических нагрузок и т.п.), температурным (влияние повышенных или пониженных температур) и агрессивным химическим (влияние кислородной, сероводородной, электрохимической и биохимической коррозии) воздействиями;

механическое повреждение оборудования в результате ошибок работника, падения предметов, некачественного проведения ремонтных и регламентных работ и т. п. (например, разгерметизация оборудования или выход из строя элементов его защиты в результате повреждения при ремонте или столкновения с железнодорожным или автомобильным транспортом).

11. На основе анализа пожарной опасности объекта, при необходимости, проводится определение комплекса дополнительных мероприятий, изменяющих параметры технологического процесса до уровня, обеспечивающего допустимый пожарный риск.

12. Для выявления пожароопасных ситуаций осуществляется деление технологического оборудования (технологических систем), при их наличии на объекте, на участки. Указанное деление выполняется, исходя из возможности раздельной герметизации этих участков при возникновении аварии. Рассматриваются пожароопасные ситуации, как на основном, так и вспомогательном технологическом оборудовании. Кроме этого, учитывается также возможность возникновения пожара в зданиях, сооружениях и строениях (далее - здания) различного назначения,

расположенных на территории объекта.

В перечне пожароопасных ситуаций применительно к каждому участку, технологической установке, зданию объекта выделяются группы пожароопасных ситуаций, которым соответствуют одинаковые модели процессов возникновения и развития.

При анализе пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, рассматриваются утечки при различных диаметрах истечения (в том числе максимальные - при полном разрушении оборудования или подводящих/отводящих трубопроводов).

Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

13. Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте используется информация:

а) об отказах оборудования, используемого на объекте;

б) о параметрах надежности используемого на объекте оборудования;

в) об ошибочных действиях работника объекта;

г) о гидрометеорологической обстановке в районе размещения объекта;

д) о географических особенностях местности в районе размещения объекта.

14. Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций могут использоваться статистические данные по аварийности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта.

15. Информация о частотах реализации пожароопасных ситуаций (в том числе возникших в результате ошибок работника), необходимая для оценки риска, может быть получена непосредственно из данных о

функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов. Рекомендуемые сведения по частотам реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов, частотам утечек из технологических трубопроводов, а также частотам возникновения пожаров в зданиях приведены в приложении № 1 к Методике.

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

16. При построении полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития учитываются:

тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов горючих веществ на поверхность и огненных шарах;

избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;

избыточное давление и импульс волны давления при разрыве сосуда (резервуара) в результате воздействия на него очага пожара;

избыточное давление при сгорании газопаровоздушной смеси в помещении;

концентрация токсичных компонентов продуктов горения в помещении;

снижение концентрации кислорода в воздухе помещения;

задымление атмосферы помещения;

среднеобъемная температура в помещении;

расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

Оценка величин указанных факторов проводится на основе анализа физических явлений, протекающих при пожароопасных ситуациях, пожарах, взрывах. При этом рассматриваются следующие процессы,

возникающие при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров или являющиеся их последствиями (в зависимости от типа оборудования и обращающихся на объекте горючих веществ):

истечение жидкости из отверстия;

истечение газа из отверстия;

двухфазное истечение из отверстия;

растекание жидкости при разрушении оборудования;

выброс газа при разрушении оборудования;

формирование зон загазованности;

сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;

разрушение сосуда с перегретой легковоспламеняющейся жидкостью, горючей жидкостью или сжиженным горючим газом;

тепловое излучение от пожара пролива или огненного шара;

реализация пожара-вспышки;

испарение жидкости из пролива;

образование газопаровоздушного облака (газы и пары тяжелее воздуха);

сгорание газопаровоздушной смеси в технологическом оборудовании или помещении;

пожар в помещении;

факельное горение струи жидкости и/или газа;

тепловое излучение горящего оборудования;

вскипание и выброс горящей жидкости при пожаре в резервуаре.

Также, при необходимости, рассматриваются иные процессы, которые могут иметь место при возникновении пожароопасных ситуаций и пожаров.

17. Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров рекомендуется использовать метод логических деревьев событий (далее - логическое дерево). Сценарий возникновения и развития

пожароопасной ситуации (пожара) на логическом дереве отражается в виде последовательности событий от исходного до конечного события (далее - ветвь дерева событий). Процедура построения логического дерева событий приведена в приложении № 2 к Методике.

При построении логического дерева событий используются:

условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева событий и перехода пожароопасной ситуации или пожара на ту или иную стадию развития;

вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара (принимается исходя из статистических данных, публикуемых в научно-техническом журнале «Пожарная безопасность» или по паспортным данным завода-изготовителя оборудования);

вероятность поражения расположенного в зоне пожара технологического оборудования и зданий объекта в результате воздействия на них опасных факторов пожара, взрыва.

18. Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в приложении № 3 к Методике.

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития

19. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев их развития осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики опасных факторов пожара на территории объекта и прилегающей к нему территории и информации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара.

20. При оценке последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев развития пожароопасных

ситуаций предусматривается определение числа людей, попавших в зону поражения опасными факторами пожара, взрыва. Для оценки пожарного риска используют, как правило, вероятностные критерии поражения людей опасными факторами пожара. Детерминированные критерии используются при невозможности применения вероятностных критериев. Детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей приведены в приложении № 4 к Методике.

Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий

21. При анализе влияния систем обеспечения пожарной безопасности зданий на расчетные величины пожарного риска предусматривается рассмотрение комплекса мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта.

При этом рассматриваются следующие мероприятия по обеспечению пожарной безопасности:

мероприятия, направленные на предотвращение пожара;

мероприятия по противопожарной защите;

организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

22. Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности учитываются при определении частот реализации пожароопасных ситуаций, возможных сценариев возникновения и развития пожаров и последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

III. Порядок вычисления расчетных величин пожарного риска на объекте

23. Расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков в зданиях и на территории объекта, а также в селитебной зоне вблизи объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска.

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

24. Величина потенциального пожарного риска *P(a)* (год$^{-1}$) (далее - потенциальный риск) в определенной точке *(a)* как на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$\boldsymbol{P(a) = \sum_{j=1}^{J} Q_{dj}(a) \cdot Q_j} \qquad (1)$$

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

$Q_{dj}(a)$ - условная вероятность поражения человека в определенной точке территории *(a)* в результате реализации j-го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварию событию;

Q_j - частота реализации в течение года j-го сценария развития пожароопасных ситуаций, год$^{-1}$.

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются по критериям поражения людей опасными факторами пожара, взрыва. При расчете риска рассматриваются различные метеорологические условия с типичными направлениями ветров и ожидаемой частотой их возникновения.

25. При проведении расчета риска предусматривается рассмотрение различных пожароопасных ситуаций, определение зон поражения опасными факторами пожара, взрыва и частот реализации указанных пожароопасных ситуаций. Для удобства расчетов территорию местности может разделяться на зоны, внутри которых величины *P(a)* полагаются одинаковыми.

26. В необходимых случаях оценка условной вероятности поражения человека проводится с учетом совместного воздействия более чем одного опасного фактора. Так, например, для расчета условной вероятности поражения человека при реализации сценария, связанного со взрывом резервуара с легковоспламеняющейся жидкостью (далее - ЛВЖ) под давлением, находящегося в очаге пожара, необходимо учитывать, кроме теплового излучения огненного шара, воздействие волны давления.

Условная вероятность поражения человека $Q_{dj}(a)$ от совместного независимого воздействия несколькими опасными факторами в результате реализации j-го сценария развития пожароопасных ситуаций определяется по формуле:

$$\boldsymbol{Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^{h}\left(1 - Q_k \cdot Q_{djk}(a)\right)} \qquad (2)$$

где h - число рассматриваемых опасных факторов;
Q_k - вероятность реализации k-го опасного фактора;
$Q_{djk}(a)$ - условная вероятность поражения k-ым опасным фактором.

Потенциальный риск в зданиях объекта

27. Величина потенциального риска P_i (год$^{-1}$) в i-ом помещении здания или пожарного отсека здания (далее - здания) объекта определяется по формуле:

$$\boldsymbol{P_i = \sum_{j=1}^{J} Q_j \cdot Q_{dij}} \qquad (3)$$

где J - число сценариев возникновения пожара в здании;
Q_j - частота реализации в течение года j-го сценария пожара, год$^{-1}$;
Q_{dij} - условная вероятность поражения человека при его нахождении в i-ом помещении при реализации j-го сценария пожара.

28. Условная вероятность поражения человека Q_{dij} определяется по формуле:

$$\boldsymbol{Q_{dij} = \left(1 - P_{Эij}\right) \cdot \left(1 - D_{ij}\right)} \quad (4)$$

где $P_{Эij}$ - вероятность эвакуации людей, находящихся в i-ом помещении здания, при реализации j-го сценария пожара;

D_{ij} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i-ом помещении при реализации j-го сценария пожара.

29. Вероятность эвакуации $P_{Эij}$ определяется по формуле:

$$\boldsymbol{P_{Эij} = 1 - \left(1 - P_{Э.Пij}\right) \cdot \left(1 - P_{Д.Вij}\right)} \quad (5)$$

где $P_{Э.Пij}$ - вероятность эвакуации людей, находящихся в i-ом помещении здания, по эвакуационным путям при реализации j-го сценария пожара;

$P_{Д.Вij}$ - вероятность выхода из здания людей, находящихся в i-ом помещении, через аварийные или иные выходы.

При отсутствии данных вероятность $P_{Д.Вij}$ допускается принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии.

30. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям $P_{Э.Пij}$ определяется по формуле:

$$\boldsymbol{P_{Э.Пij} = \begin{cases} \dfrac{0,8 \cdot \tau_{блij} - t_{Pij}}{\tau_{Н.Э}}, \text{ если } t_{Pij} < 0,8 \cdot \tau_{блij} < t_{Pij} + \tau_{Н.Эij} \\ 0,999, \text{ если } t_{Pij} + \tau_{Н.Эij} \leq 0,8 \cdot \tau_{блij} \\ 0,001, \text{ если } t_{Pij} \geq 0,8 \cdot \tau_{блij} \end{cases}} \quad (6)$$

где $\tau_{блij}$ - время от начала реализации j-го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей), мин;

t_{Pij} - расчетное время эвакуации людей из i-го помещения при j-ом сценарии пожара, мин;

$\tau_{Н.Эij}$ - интервал времени от начала реализации j-го сценария пожара до начала эвакуации людей из i-го помещения, мин.

31. Время от начала пожара до начала эвакуации людей $\tau_{Н.Э}$ для зданий без систем оповещения определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в зданиях (далее - СОУЭ) $\tau_{Н.Э}$ принимается

равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях без СОУЭ $\tau_{Н.Э}$ допускается принимать равным 0,5 мин - для этажа пожара и 2 мин - для вышележащих этажей.

32. Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то $\tau_{Н.Э}$ допускается принимать равным нулю.

В этом случае вероятность $P_{Э.Пij}$ определяется по формуле:

$$\boldsymbol{P_{Э.Пij}} = \begin{cases} \mathbf{0,999}, \text{ если } \boldsymbol{t_{Pij} < 0,8 \cdot \tau_{блij}} \\ \mathbf{0,001}, \text{ если } \boldsymbol{t_{Pij} \geq 0,8 \cdot \tau_{блij}} \end{cases} \quad (7)$$

33. Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетное время эвакуации определяются по методам, приведенным в приложении № 5 к Методике.

Расчетное время эвакуации t_{Pij} рассчитывается при максимально возможной расчетной численности людей в здании, определяемой на основе решений по организации эксплуатации здания, от наиболее удаленной от эвакуационных выходов точки i-го помещения. Допускается определение расчетного времени эвакуации на основе экспериментальных данных.

Для определения указанных выше величин $\tau_{блij}$ и t_{Pij} допускается дополнительно использовать методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных в установленном порядке.

34. При определении величин потенциального риска для работников, которые находятся в здании на территории объекта, допускается рассматривать для здания в качестве расчетного один наиболее неблагоприятный сценарий возникновения пожара, характеризующийся максимальной условной вероятностью поражения человека. В этом случае

расчетная частота возникновения пожара принимается равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании сценариев возникновения пожара.

35. Вероятность D_{ij} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности i-го помещения при реализации j-го сценария пожара определяется по формуле:

$$\boldsymbol{D_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^{K}\left(1 - D_{ijk}\right)} \qquad (8)$$

где K - число технических средств противопожарной защиты;

D_{ijk} - вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи) k-го технического средства при j-ом сценарии пожара для i-го помещения здания.

При отсутствии данных по эффективности технических средств величины D_{ij} допускается принимать равными 0.

36. При определении значений D_{ij} следует учитывать только технические средства, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) в i-ом помещении здания людей при реализации j-го сценария пожара. При этом учитываются следующие мероприятия:

применение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара в безопасную зону (при организации эвакуации в безопасную зону);

наличие систем противодымной защиты рассматриваемого помещения и путей эвакуации;

использование автоматических установок пожарной сигнализации (далее - АУПС) в сочетании с СОУЭ;

наличие установок пожаротушения в помещении очага пожара.

При определении условной вероятности поражения людей, находящихся в помещении очага пожара, не допускается учитывать наличие в этом помещении АУПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда

пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми), а также установок пожаротушения, срабатывание которых допускается только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (например, при наличии установок газового пожаротушения).

Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта

37. Индивидуальный пожарный риск (далее - индивидуальный риск) для работников объекта оценивается частотой поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

Области, на которые разбита территория объекта, нумеруются: $i = 1, \ldots, I$.

Работники объекта нумеруются: $m = 1, \ldots, M$.

Номер работника m, однозначно определяет наименование должности работника, его категорию и другие особенности его профессиональной деятельности, необходимой для оценки пожарной безопасности. Допускается проводить расчет индивидуального риска для работника объекта, относя его к одной категории наиболее опасной профессии.

38. Величина индивидуального риска R_m (год$^{-1}$) для работника m объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле:

$$\boldsymbol{R_m = \sum_{i=1}^{I} q_{i_m} \cdot P(i)} \qquad (9)$$

где $P(i)$ - величина потенциального риска в i-ой области территории объекта, год$^{-1}$;

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

39. Величина индивидуального риска R_m (год$^{-1}$) для работника m при

его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле:

$$\boldsymbol{R_m = \sum_{i=1}^{N} P_i \cdot q_{im}} \qquad (10)$$

где P_i - величина потенциального риска в i-ом помещении здания, год$^{-1}$;
q_{im} - вероятность присутствия работника m в i-ом помещении;
N - число помещений в здании, сооружении и строении.

40. Индивидуальный риск работника m объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника на территории и в зданиях объекта, определенных по формулам (9) и (10).

41. Вероятность q_{im} определяется, исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории и/или в i-ом помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта.

Индивидуальный и социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта

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

для зданий, сооружений и строений классов Ф1 по функциональной пожарной опасности - 1;

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

для этих зданий, сооружений и строений.

43. Для объекта социальный пожарный риск (далее - социальный риск) принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, социальный риск S (год$^{-1}$) определяется по формуле:

$$\boldsymbol{S = \sum_{j=1}^{L} Q_j} \qquad (11)$$

где L - число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров), для которых выполняется условие $N_i \geq 10$;

N_i - среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи объекта в результате реализации j-го сценария в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва.

44. Величина N_i определяется по формуле:

$$\boldsymbol{N_i = \sum_{i=1}^{I} Q_{dij} \cdot n_i} \qquad (12)$$

где I - количество областей, на которые разделена территория, прилегающая к объекту (i - номер области);

Q_{dij} - условная вероятность поражения человека, находящегося в i-ой области, опасными факторами при реализации j-го сценария;

n_i - среднее число людей, находящихся в i-ой области.

Индивидуальный и социальный пожарный риск для линейной части магистральных трубопроводов

45. Величина потенциального риска $P(r)$ (год$^{-1}$) в определенной точке на расстоянии r от оси магистрального трубопровода определяется по формуле:

$$\boldsymbol{P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{x_{1\,jk}}^{x_{2\,jk}} Q_{nopjk}(x, r) dx} \qquad (13)$$

где $\lambda_j(m)$ - удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для j-го типа разгерметизации на участке m магистрального трубопровода, год$^{-1}$·м$^{-1}$;

K_0- число сценариев развития пожароопасной ситуации или пожара. При этом

подлежат рассмотрению для каждого типа разгерметизации следующие сценарии: факельное горение, пожар пролива (для истечения жидкой фазы), пожар-вспышка, сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;

J_0 - число рассматриваемых типов разгерметизации;

Q_{jk} - условная вероятность реализации k-го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) для j-го типа разгерметизации;

$Q_{nopjk}(x, r)$ - условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии r от оси магистрального трубопровода в результате реализации k-го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), произошедшей на участке магистрального трубопровода с координатой x, расположенной в пределах участка влияния k-го сценария развития пожара для j-го типа разгерметизации;

x_{1jk}, x_{2jk} - координаты начала и окончания участка влияния. Границы участка влияния определяются для k-го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) из условия, что зона поражения опасными факторами пожара (взрыва) при аварии на магистральном трубопроводе за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии r от оси магистрального трубопровода. Допускается интегрирование проводить по всей длине трубопровода.

Рекомендуемый метод определения удельных частот различных типов разгерметизации магистрального трубопровода приведен в приложении N 6 к Методике. Число рассматриваемых сценариев развития пожароопасной ситуации (пожара) при разгерметизации линейной части магистрального трубопровода, условные вероятности Q_{jk} и $Q_{nopjk}(x, r)$ определяются в зависимости от специфики пожарной опасности магистрального трубопровода и транспортируемого вещества.

46. Индивидуальный риск для работников, обслуживающих линейную часть магистрального трубопровода, определяется в соответствии с пунктами 37 и 40 Методики. Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи линейной части магистрального трубопровода, индивидуальный риск определяется в соответствии с пунктом 42 Методики.

47. Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи линейной части магистрального трубопровода, социальный риск S (год$^{-1}$) определяется по формуле:

$$\boldsymbol{S = max\{S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_Q\}} \qquad (14)$$

где S_1, S_2, S_p, S_Q - величины социального риска для различных потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода (год$^{-1}$), определяемые в соответствии с пунктами 43 и 44 Методики;

Q - количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода.

Количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяется на основе анализа плана трассы магистрального трубопровода и прилегающей к ней территории. Границы потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяются из условия расположения вблизи них населенных пунктов, зданий, сооружений и строений, не относящихся к магистральному трубопроводу, расположенных на расстоянии менее значений, регламентированных нормативными документами по пожарной безопасности.

Описание объекта защиты

Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации

Таблица 1 – Характеристики территории объекта

Параметр	Значение
Город	Москва
Адрес	Южная дом 1
Класс загроможденности пространства	4

Таблица 2 – Характеристики климатической зоны

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Вероятность, %	17.0	10.0	10.0	8.0	6.0	11.0	16.0	22.0
Скорость ветра, м/с	3.8	2.9	3.0	3.4	3.4	3.3	3.4	3.9

Максимальная температура воздуха, соответствующая выбранному региону: 37.0 °С.

Вероятность штиля: 12.0 %.

Таблица 3 – Характеристики объекта (ТРК Nova)

Параметр	Значение
Тип объекта	ТРК (ЛВЖ или ГЖ)
Расход жидкости	4,8 $м^3$/час
Время аварийного отключения	120 с
Внутренний радиус отводящего трубопровода	0.01 м
Вероятность срабатывания системы пожаротушения	0
Вероятность срабатывания системы пожарной сигнализации	0
Содержимое вещество	
Макс. температура содержимого вещества	37 ºС
Коэффициент разлития	150

Таблица 4 – Раздаточные рукава (ТРК Nova)

Вещество	Количество рукавов
Бензин АИ-100	1
Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	2
Бензин АИ-95	2
Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)	1

Таблица 5 – Характеристики объекта (Автоцистерна)

Параметр	Значение
Тип объекта	Автоцистерна (Резервуар для хранения ЛВЖ и горючих жидкостей при давлении, близком к атмосферному)
Объем	60 $м^3$
Высота	1 м
Вероятность срабатывания системы пожаротушения	0
Вероятность срабатывания системы пожарной сигнализации	0
Содержимое вещество	Бензин АИ-100

Макс. температура содержимого вещества	37 ºС

Таблица 6 – Характеристики вещества Бензин АИ-100

Параметр	Значение
Название	Бензин АИ-100
Тип	Жидкость
Молярная масса	101.1кг*кмоль$^{-1}$
Температура вспышки	-34 ºС
Константа антуана А	5.64511
Константа антуана В	890.461
Константа антуана Са	302.468
Плотность	780кг/м^3
НКПР	0.83 %(об)
Класс чувствительности	3
Корректировочный параметр	1
Тип в соответствии с таблицей П3.4 приказа 404	Бензин

Таблица 7 – Характеристики вещества Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)

Параметр	Значение
Название	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)
Тип	Жидкость
Молярная масса	98.2кг*кмоль$^{-1}$
Температура вспышки	-36 ºС
Константа антуана А	4.12311
Константа антуана В	664.976
Константа антуана Са	221.695
Плотность	745кг/м^3
НКПР	1.06 %(об)
Класс чувствительности	3
Корректировочный параметр	1
Тип в соответствии с таблицей П3.4 приказа 404	Бензин

Таблица 8 – Характеристики вещества Бензин АИ-95

Параметр	Значение
Название	Бензин АИ-95
Тип	Жидкость
Молярная масса	99.1кг*кмоль$^{-1}$
Температура вспышки	-35 ºС
Константа антуана А	4.89158
Константа антуана В	691.456
Константа антуана Са	267.89
Плотность	756кг/м^3
НКПР	0.92 %(об)
Класс чувствительности	3
Корректировочный параметр	1
Тип в соответствии с таблицей П3.4 приказа 404	Бензин

Таблица 9 – Характеристики вещества Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)

Параметр	Значение
Название	Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)
Тип	Жидкость
Молярная масса	203.6кг*кмоль$^{-1}$
Температура вспышки	65 ºС
Константа антуана А	5.00109
Константа антуана В	1314.04
Константа антуана Са	192.473
Плотность	824кг/м^{3}
НКПР	0.52 %(об)
Класс чувствительности	4
Корректировочный параметр	0.99
Тип в соответствии с таблицей П3.4 приказа 404	Дизельное топливо

Таблица 10 – Представители профессий пребывающих на территории

Профессия	Количество рабочих дней в году	Инд. риск в зданиях
Оператор	247	
Водитель автоцистерны	247	
Заправщик	247	
Посетитель	365	

Вероятность присутствия работника в зоне на территории определяется как соотношение рабочих часов в течение года к общему количеству часов в году. Расчетом принято, что в году 8760 часов (365 дней по 24 часа).

Таблица 11 – Вероятность присутствия работников в зоне на территории

Зона	Профессия	Время присутствия на территории, часов в сутки	Вероятность присутствия
E	Оператор	1	0,028
C	Водитель автоцистерны	1	0,028
B	Заправщик	4	0,113
A	Посетитель	0.05	0,002

Таблица 12 – Список объектов находящихся в селитебной зоне

Название	Количество людей	Время пребывания (часов в сутки)
Жилой дом №1	120	24

Результаты проведения расчетов по оценке пожарного риска

Расчет значений потенциального риска для объекта "ТРК Nova"

Расчет параметров пожароопасных событий для объекта ТРК Nova при его нахождении на свободной площадке

Раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-100

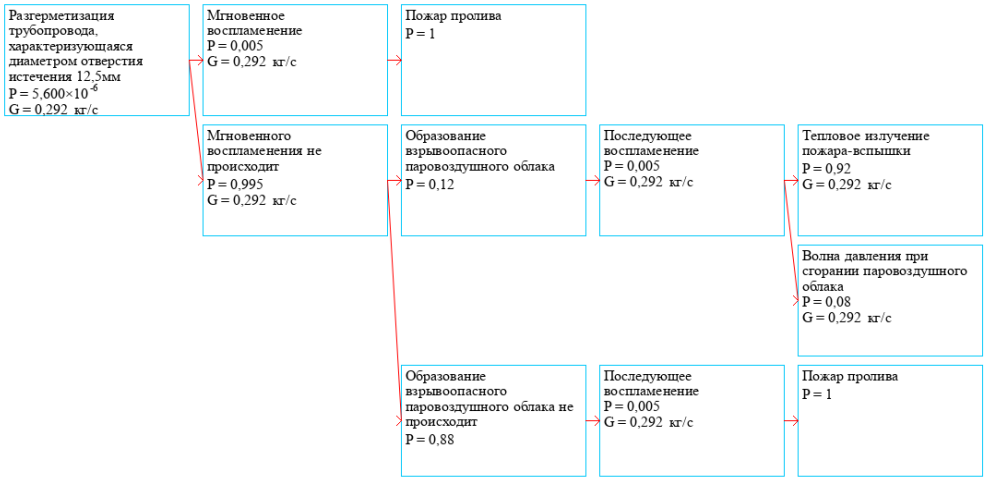

Рисунок 1 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

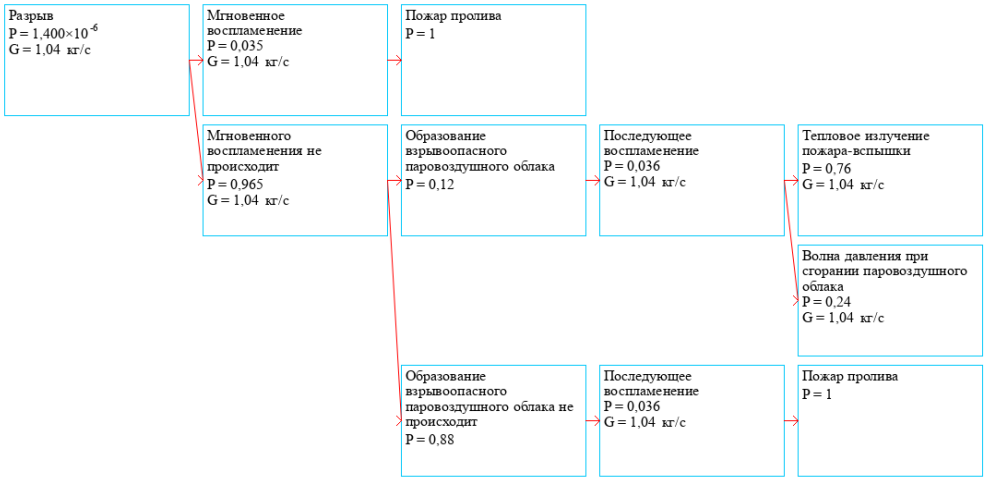

Рисунок 2 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 13 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (ТРК Nova)

№ сценария	Инициирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учтенные коэффициенты	Вероятность

1	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}800 \cdot 10^{-8}$
2	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с$=0	$3{,}076 \cdot 10^{-9}$
3	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с$=0	$2{,}675 \cdot 10^{-10}$
4	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}452 \cdot 10^{-8}$
5	Разрыв	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$4{,}900 \cdot 10^{-8}$
6	Разрыв	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с$=0	$4{,}436 \cdot 10^{-9}$
7	Разрыв	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с$=0	$1{,}401 \cdot 10^{-9}$
8	Разрыв	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$4{,}280 \cdot 10^{-8}$

где $P_т$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, $P_с$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

Общая площадь отверстия истечения (с учетом площади сечения трубопровода и образовавшегося отверстия) определялась по формуле:

$$S_{об} = \pi {R_т}^2 + \pi (D_{hol}/2)^2 \quad (1)$$

где Rт – внутренний радиус трубопровода, м;
Dhol – диаметр образовавшегося отверстия.

$$S_{об} = 3{,}14*0{,}01^2+3{,}14\times(12{,}5/1000)/2)^2 = 4{,}369\times10^{-4}\ м^2$$

Таким образом, расход жидкости из образовашего отверстия будет равнятся:

$$q_{от} = q/S_{об} \cdot \pi(D_{hol}/2)^2 \quad (2)$$

$$q_{от} = 4{,}8/4{,}369\times10^{-4}\times3{,}14\times(12{,}5/1000)/2)^2 = 1{,}348 \text{ м}^3/\text{час}$$

Объем поступившей жидкости из трубопровода до его отключения определялся по формуле А.9 [3]:

$$V_1 = qT \quad (3)$$

где q – расход жидкости, $м^3\times час^{-1}$;
T – время аварийного отключения, с.

$$V_1 = 1{,}348/3600\times120 = 0{,}16 \text{ м}^3$$

Объем вещества, вышедшего из трубопровода после его отключения, определялся по формуле:

$$V_2 = \pi R^2 L \quad (4)$$

где R – внутренний радиус трубопровода, $м^2$;
L – длина трубопровода, м.

$$V_2 = 3{,}14\times0{,}01^2\times4 = 0{,}001 \text{ м}^3$$

Общий объем поступившего вещества определялся по формуле А.8 [3]:

$$V = V_{1Т} + V_{2Т} \quad (5)$$

$$V = 0{,}16 + 0{,}001 = 0{,}161 \text{ м}^3$$

Площадь пролива определялась по формуле П3.27 [2]:

$$F_{ПР} = f_p V_ж \quad (6)$$

где f - удельная площадь розлива, $м^2$/литр;
$V_ж$ - объем вышедшей жидкости, $м^3$.

$$F_п = 150\times0{,}161 = 24{,}188 \text{ м}^2$$

Масса, пролива при расчетной аварии определялась по формуле

П.3.23 [2]:

$$m_a = \rho_L \times V_R \quad (7)$$

$$m_п = 0{,}161 \times 780 = 125{,}78 \text{ кг}$$

Давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости определялась по формуле П.4.68.1 [4]:

$$P_H = 10^{A-B/(T_a+Ca)} \quad (8)$$

где А - константа уравнения Антуана;
T_H - начальная температура нагретой жидкости, К.

$$P_H = 10^{5{,}645-890{,}461/(37+302{,}468)} = 1051{,}968 \text{ кПа}$$

Интенсивность испарения W определяется по формуле П.3.68 [2]:

$$W = 10^{-6} * \eta\sqrt{M} \times P_H \quad (9)$$

где η - коэффициент, принимаемый по таблице А.2 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;
P_H - давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

$$W = 10^{-6}\times1\times\sqrt{101{,}1}\times1051{,}968 = 0{,}011$$

Время полного испарения жидкости определялась по формуле:

$$T = m/(F_и W) \quad (10)$$

$$T = 125{,}78/(24{,}188\times0{,}011) = 491{,}615 \text{ с}$$

Масса испарившейся жидкости определялась по формуле А.12 [3]:

$$m = W F_и T \quad (11)$$

$$m = 0{,}011\times24{,}188\times491{,}615 = 125{,}78 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разрыв

$$S_{об} = 3{,}14*0{,}01^2+3{,}14\times(20/1000)/2)^2 = 6{,}283\times10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4{,}8/6{,}283\times10^{-4}\times3{,}14\times(20/1000)/2)^2 = 2{,}4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 2{,}4/3600\times120 = 0{,}16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3{,}14 \times 0{,}01^2 \times 4 = 0{,}001 \text{ м}^3$$

$$V = 0{,}16 + 0{,}001 = 0{,}161 \text{ м}^3$$

$$F_п = 150 \times 0{,}161 = 24{,}188 \text{ м}^2$$

$$m_п = 0{,}161 \times 780 = 125{,}78 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{5{,}645-890{,}461/(37+302{,}468)} = 1051{,}968 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{101{,}1} \times 1051{,}968 = 0{,}011$$

$$T = 125{,}78/(24{,}188 \times 0{,}011) = 491{,}615 \text{ с}$$

$$m = 0{,}011 \times 24{,}188 \times 491{,}615 = 125{,}78 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № 1,4,5,8)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

Плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения определялась по уравнению Менделеева-Клайперона:

$$\rho_p = p \times M/(R \times T_{кип}) \quad (12)$$

где p - атмосферное давление, кПа;
M - молярная масса г/моль;
R - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(моль × К));
$T_{кип}$ - температура кипения вещества, К.

$$\rho_п = 101{,}3 \times 101{,}1/(8{,}31 \times (273{,}15+0) = 4{,}512 \text{ кг/м}^3.$$

Эффективный диаметр пролива d определялся по формуле П3.58 [2]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi}} \quad (13)$$

где F - площадь пролива, м.

$$d = \sqrt{(4 \times 24{,}188/3{,}14)} = 5{,}551 \text{ м}^2.$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы П3.4 [1]:

$$m' = 0{,}06 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 60 \text{ кВт/м}^2.$$

Параметр u_* определялся по формуле П3.60 [2]:

$$u_{.} = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m` \times g \times d}{\rho_П}}} \quad (14)$$

где $\rho_п$ - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м^3;
w_0 - скорость ветра м/с;
g - ускорение свободного падения (9,81 м/с^2.

$$u_* = 3{,}9/(0{,}06 \times 9{,}81 \times 5{,}551/4{,}512)^{1/3} = 4{,}343.$$

Плотность окружающего воздуха ρ определялась по уравнению Менделеева-Клайперона:

$$\rho = p \times M/(R \times T) \quad (15)$$

где p - плотность атмосферное давление, кПа;
M - молярная масса г/моль (для воздуха 28,98);
R - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(моль × К));
T - температура окружающей среды, К.

$$\rho_a = 101{,}3 \times 28{,}98/(8.31 \times (273{,}15+37) = 1{,}139 \text{ кг/м}^3.$$

Так как $u_* \geq 1$ длина пламени L определялась по формуле П3.59 [2]:

$$L = 55 \times d \left(\frac{m`}{\rho_a \sqrt{g \times d}}\right)^{0{,}67} \times u_{.}^{0{,}21} \quad (16)$$

где ρ_a - плотность окружающего воздуха, кг/м^3.

$$L = 55 \times 5{,}551 \times (0{,}06/(1{,}139 \times \sqrt{(9{,}81 \times 5{,}551)})^{0{,}67}) \times 4{,}343^{0{,}21} = 15{,}156 \text{ м.}$$

Угол отклонения пламени по вертикали определялся по формуле П3.61 [2]:

$$\cos\theta = \begin{cases} 1, \text{при} & u_{.} < 1 \\ u_{.}^{-0{,}5}, \text{при} & u_{.} \geq 1 \end{cases} \quad (17)$$

$$\theta = \arccos(u_*^{-0,5}) = 1,07 \text{ рад.}$$

Параметр a определялся по формуле П3.57 [2]:

$$a = \frac{2 \times L}{d} \tag{18}$$

Параметр b определялся по формуле П3.57.1 [2]:

$$b = \frac{2 \times X}{d} \tag{19}$$

Параметр A определялся по формуле П3.57.2 [2]:

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \times a \times (b+1) \times sin\theta)} \tag{20}$$

Параметр B определялся по формуле П3.57.3 [2]:

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2 \times a \times (b-1) \times sin\theta)} \tag{21}$$

Параметр C определялся по формуле П3.57.4 [2]:

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

Параметр D определялся по формуле П3.57.5 [2]:

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)} \tag{23}$$

Параметр E определялся по формуле П3.57.6 [2]:

$$E = \frac{a \times cos\theta}{b - a \times sin\theta} \tag{24}$$

Параметр F определялся по формуле П3.57.7 [2]:

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)} \tag{25}$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определялся по формуле П3.62 [2]:

$$\tau = exp[-7 \times 10^{-4}(X - 0,5 \times d)] \tag{26}$$

где X - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Фактор облученности для вертикальных площадок F_v определялся по формуле П3.55 [2]:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \times \left\{ -E \times arctgD + E \times \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \times b \times (1 + a \times \sin\theta)}{A \times B} \right] \times arctg\left(\frac{A \times D}{B}\right) + \frac{\cos\theta}{C} \times \left[arctg\left(\frac{a \times b - F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) + arctg\left(\frac{F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) \right] \right\} \quad (27)$$

Фактор облученности для горизонтальных площадок F_v определялся по формуле П3.56 [2]:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \times \left\{ arctg\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \times \left[arctg\left(\frac{a \times b - F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) + arctg\left(\frac{F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) \right] - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \times (b + 1 + a \times b \times \sin\theta)}{A \times B} \right] \times arctg\left(\frac{A \times D}{B}\right) \right\} \quad (28)$$

Угловой коэффициент облученности F_q определялся по формуле П3.54 [2]:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (29)$$

Интенсивность теплового излучения q, кВт/м^2 определялся по формуле П3.52 [2]:

$$q = E_f \times F_q \times \tau \quad (30)$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

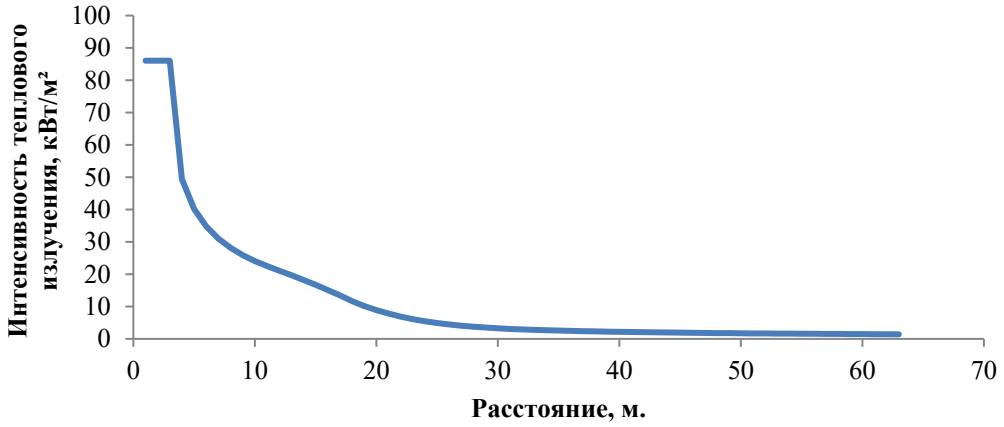

Рисунок 3 – График интенсивности теплового излучения

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № 3,7)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице П3.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

Видимая скорость фронта пламени U, определяется для рассматриваемого режима по формуле П3.37 [2]:

$$u = k_1 \times M^{1/6} \quad (31)$$

где k_1 - константа, равная 26;
M - масса горючего вещества содержащегося в облаке, кг.

$$u = 43 \times 125{,}78^{1/6} = 96{,}251 \text{ м/с}$$

Удельное энерговыделение $E_{уд}$ определялось по формуле:

$$E_{уд} = \beta E_{уд0} \quad (32)$$

где β - корректировочный параметр;
$E_{уд0}$ - удельная теплота сгорания типичных углеводородов (44)

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

Эффективный энергозапас, определялся с учетом удвоения энергозапаса, по формуле П3.36 [2]:

$$E = M_T E_{уд} \times 2 \tag{33}$$

$$E = 44 \times 125{,}78 \times 10^6 \times 2 = 110 \times 10^8 \text{ Дж}$$

Безразмерное расстояние от центра облака R_x определялось по формуле П3.39 [2]:

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3} \tag{34}$$

где R - расстояние от центра облака, м;
P_0 - атмосферное давление, Па;
E - эффективный энергозапас смеси, Дж.

Значение параметра W определялось по формуле П3.46 [2]:

$$W = \frac{u}{C_0}\left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \tag{35}$$

где σ - степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей допускается принимать 7);
u - видимая скорость фронта пламени, м/с;
C_0 - скорость звука м/с.

Величины безразмерного давления P_{x1} определялось по формуле П3.44 [2]:

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2}\right) \times \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \times \left(\frac{0{,}83}{R_x} - \frac{0{,}14}{R_x^2}\right) \tag{36}$$

Величины безразмерного давления I_{x1} определялось по формуле П3.45 [2]:

$$I_{x1} = W \times (1 - 0{,}4 \times W) \times \left(\frac{0{,}06}{R_x} + \frac{0{,}01}{R_x^2} - \frac{0{,}0025}{R_x^3}\right) \tag{37}$$

Размерная величина избыточного давления P определялась по формуле П3.42 [2]:

$$\Delta P = P_x P_0 \quad (38)$$

Размерная величина импульса фазы сжатия I^+ определялась по формуле П3.43 [2]:

$$I^+ = I_x P_0^{2/3} E^{1/3} / C_0 \quad (39)$$

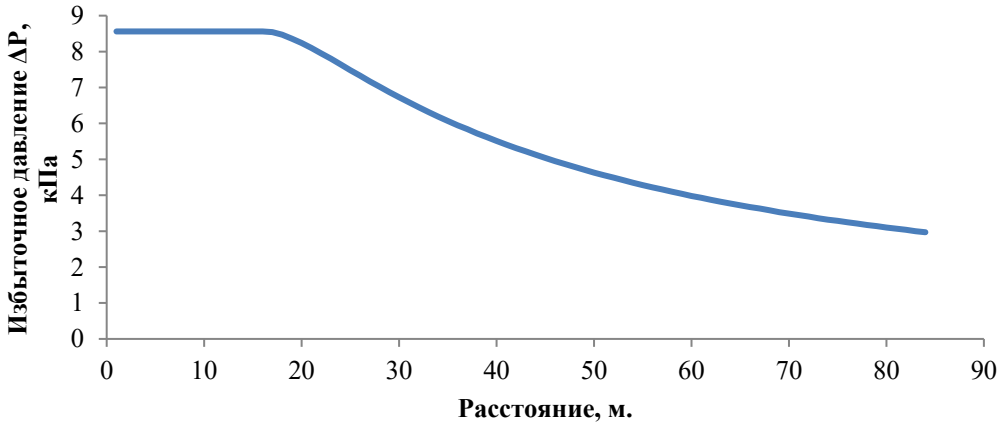

Рисунок 4 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

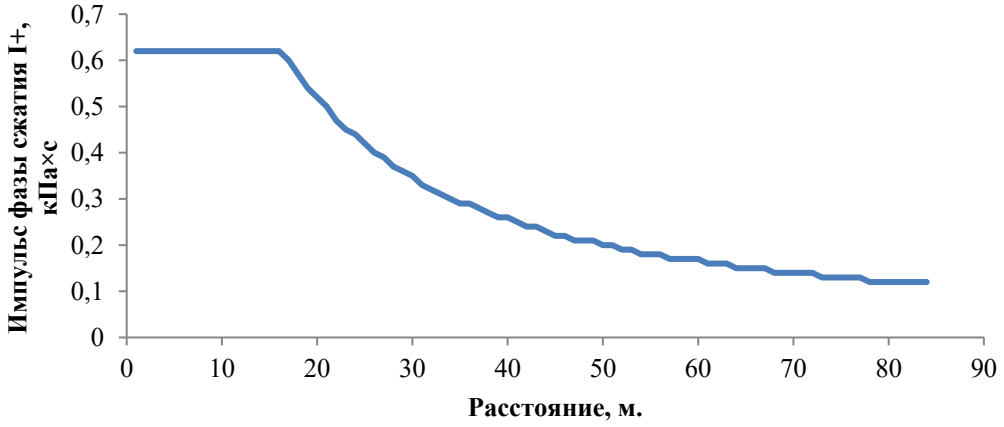

Рисунок 5 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № 2,6)

Плотность вещества ρ при расчетной температуре и атмосферном давлении вычислялась по формуле А.2 [3]:

$$\rho = \frac{\mathrm{M}}{V_0 \times (1 + 0{,}00367 \times t_p)} \quad (40)$$

где M – молярная масса, $м^3 \times кмоль^{-1}$;
V_0 – мольный объем, равный 22,413 $м^3 \times кмоль^{-1}$;
t_p – расчетная температура, °C.

$$\rho = 101{,}1/22{,}413 \times (1+0{,}00367 \times 37.0)) = 3{,}971 \text{ кг}\times\text{м}^{-3}$$

Радиус $R_{НКПР}$, ограничивающий область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения племени, определялся по формуле П3.32 [2]:

$$R_{НКПР} = 7{,}8\left(\frac{m}{\rho \times C_{НКПР}}\right)^{0{,}33} \quad (41)$$

где m - масса вещества поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;
ρ - плотность горючего газа при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м^3;
$C_{НКПР}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени, % об.

$$R_{НКПР} = 7{,}8\times(125{,}78/3{,}971/0{,}83)^{0{,}33} = 25{,}94 \text{ м.}$$

Высота $Z_{НКПР}$ ограничивающая область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения племени, определялась по формуле П3.33 [2]:

$$Z_{НКПР} = 0{,}26 \times \left(\frac{m}{\rho \times C_{НКПР}}\right)^{0{,}33} \quad (42)$$

где m - масса вещества поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;
ρ - плотность ГГ или паров ЛВЖ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м^3;
$C_{НКПР}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени, % об.

$$Z_{НКПР} = 0{,}26\times(125{,}78/3{,}971/0{,}83)^{0{,}33} = 0{,}86 \text{ м.}$$

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания при пожаре вспышке R_F определялся по формуле:

$$R_F = 1{,}2R_{НКПР} \quad (43)$$

$$R_F = 1{,}2 \times 25{,}94 = 31{,}13 \text{ м.}$$

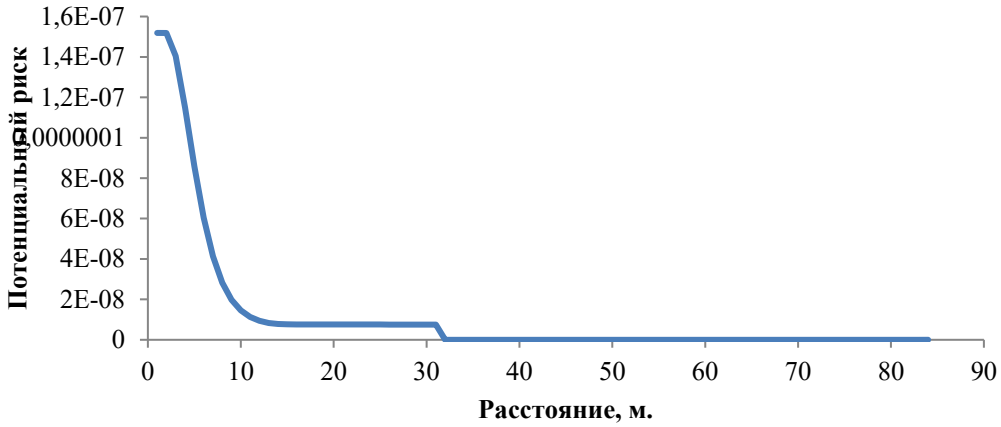

Рисунок 6 – График потенциального риска для объекта ТРК Nova (раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-100)

Раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)

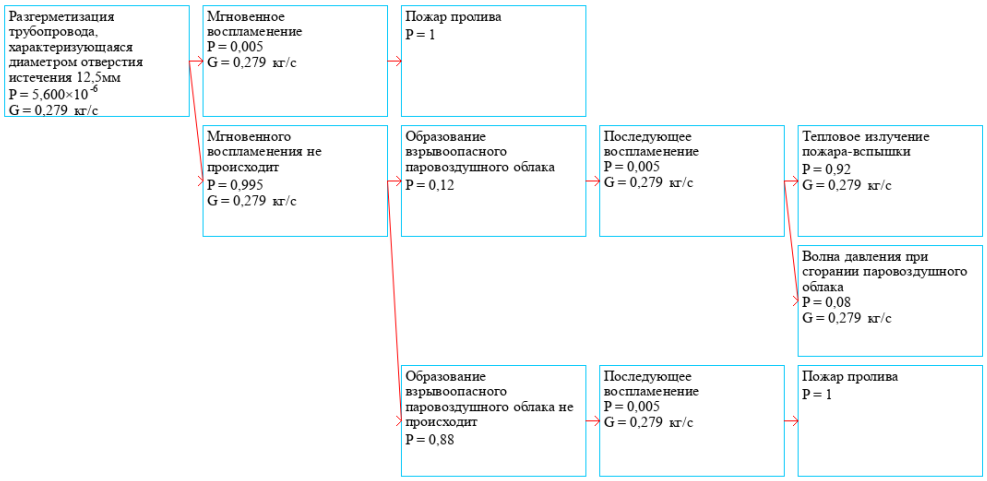

Рисунок 7 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

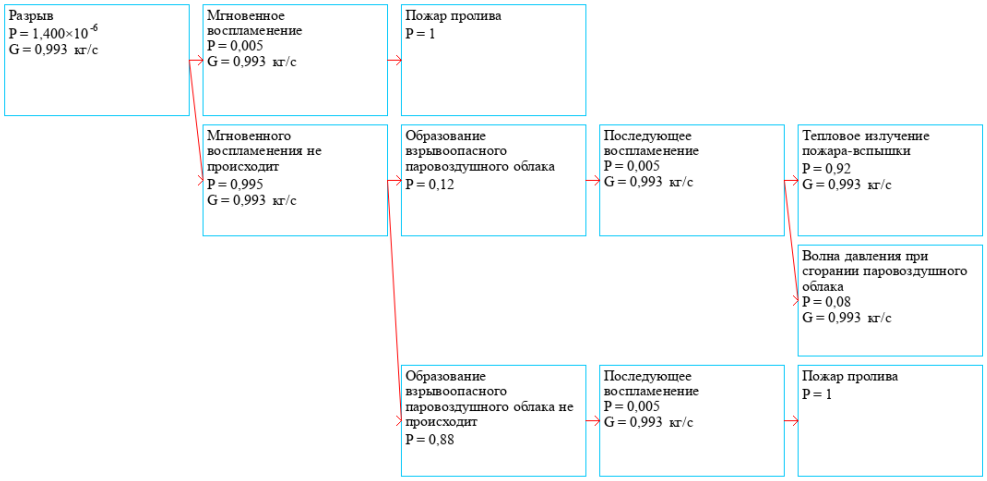

Рисунок 8 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 14 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития

(ТРК Nova)

№ сценария	Инициирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учтенные коэффициенты	Вероятность
9	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т=0$ $P_с=0$	$2,800\cdot10^{-8}$
10	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с=0$	$3,076\cdot10^{-9}$
11	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с=0$	$2,675\cdot10^{-10}$
12	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т=0$ $P_с=0$	$2,452\cdot10^{-8}$
13	Разрыв	Пожар пролива	$P_т=0$ $P_с=0$	$7,000\cdot10^{-9}$
14	Разрыв	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с=0$	$7,689\cdot10^{-10}$
15	Разрыв	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с=0$	$6,686\cdot10^{-11}$
16	Разрыв	Пожар пролива	$P_т=0$ $P_с=0$	$6,129\cdot10^{-9}$

где $P_т$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, $P_с$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

$$S_{об} = 3,14*0,01^2+3,14\times(12,5/1000)/2)^2 = 4,369\times10^{-4}\ м^2$$

$$q_{от} = 4,8/4,369\times10^{-4}\times3,14\times(12,5/1000)/2)^2 = 1,348\ м^3/час$$

$$V_1 = 1,348/3600\times120 = 0,16\ м^3$$

$$V_2 = 3,14\times0,01^2\times4 = 0,001\ м^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_п = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_п = 0,161 \times 745 = 120,136 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{4,123-664,976/(37+221,695)} = 35,695 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{98,2} \times 35,695 = 3,537 \times 10^{-4}$$

$$T = 120,136/(24,188 \times 3,537 \times 10^{-4}) = 14041,103 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, T=min(T; 3600)

$$T = 3600 \text{ с}$$

$$m = 3,537 \times 10^{-4} \times 24,188 \times 3600 = 30,802 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разрыв

$$S_{об} = 3,14*0,01^2 + 3,14 \times (20/1000)/2)^2 = 6,283 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8/6,283 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (20/1000)/2)^2 = 2,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 2,4/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_п = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_п = 0,161 \times 745 = 120,136 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{4,123-664,976/(37+221,695)} = 35,695 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{98,2} \times 35,695 = 3,537 \times 10^{-4}$$

$$T = 120,136/(24,188 \times 3,537 \times 10^{-4}) = 14041,103 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, T=min(T; 3600)

$$T = 3600 \text{ с}$$

$$m = 3,537 \times 10^{-4} \times 24,188 \times 3600 = 30,802 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № 9,12,13,16)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

$$\rho_п = 101,3 \times 98,2/(8,31 \times (273,15+33) = 3,91 \text{ кг/м}^3.$$

$$d = \sqrt{(4 \times 24{,}188/3{,}14)} = 5{,}551 \text{ м}^2.$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы П3.4 [1]:

$$m' = 0{,}06 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 60 \text{ кВт/м}^2.$$

$$u_* = 3{,}9/(0{,}06 \times 9{,}81 \times 5{,}551/3{,}91)^{1/3} = 4{,}141.$$

$$\rho_a = 101{,}3 \times 28{,}98/(8.31 \times (273{,}15+37) = 1{,}139 \text{ кг/м}^3.$$

$$L = 55 \times 5{,}551 \times (0{,}06/(1{,}139 \times \sqrt{(9{,}81 \times 5{,}551)})^{0{,}67}) \times 4{,}141^{0{,}21} = 15{,}005 \text{ м.}$$

$$\theta = \arccos(u_*^{-0{,}5}) = 1{,}057 \text{ рад.}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

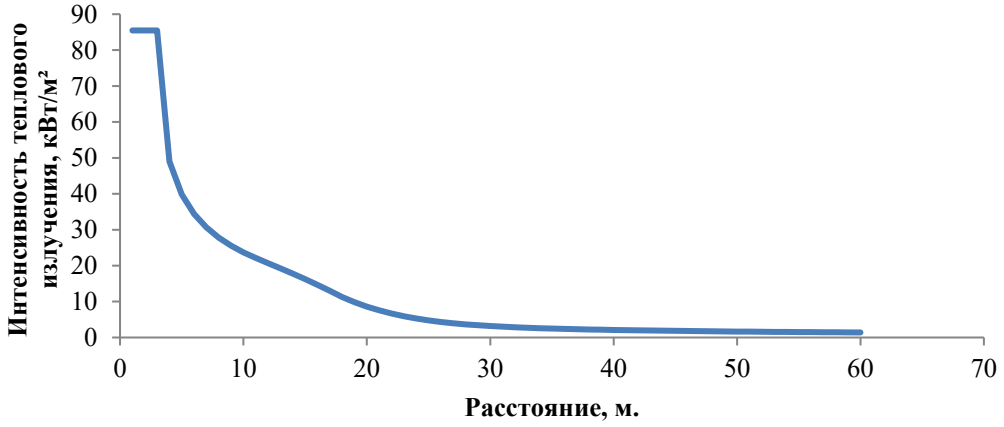

Рисунок 9 – График интенсивности теплового излучения

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № 11,15)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице П3.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

$$u = 43 \times 30{,}802^{1/6} = 76{,}131 \text{ м/с}$$

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

$$E = 44 \times 30{,}802 \times 10^6 \times 2 = 271 \times 10^7 \text{ Дж}$$

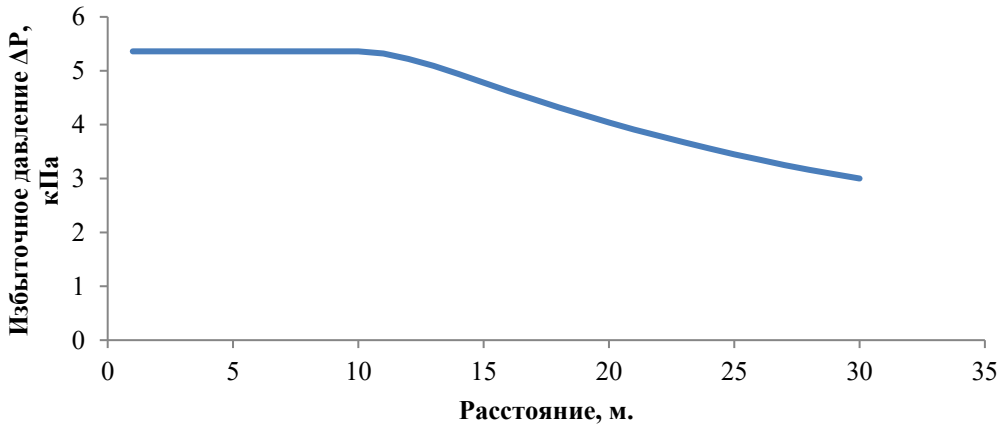

Рисунок 10 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

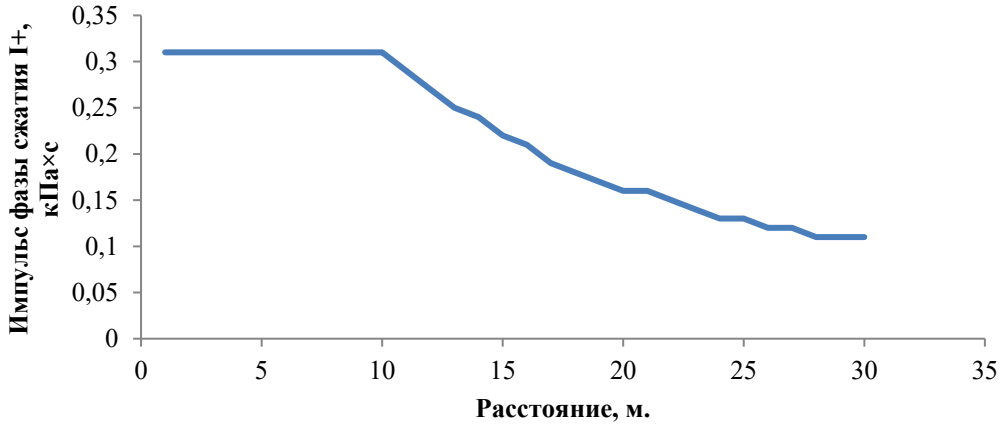

Рисунок 11 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № 10,14)

$$\rho = 98{,}2/22{,}413 \times (1+0{,}00367 \times 37.0)) = 3{,}858 \text{ кг}\times\text{м}^{-3}$$

$$R_{НКПР} = 7{,}8\times(30{,}802/3{,}858/1{,}06)^{0{,}33} = 15{,}19 \text{ м.}$$

$$Z_{НКПР} = 0{,}26\times(30{,}802/3{,}858/1{,}06)^{0{,}33} = 0{,}51 \text{ м.}$$

$$R_F = 1{,}2 \times 15{,}19 = 18{,}23 \text{ м.}$$

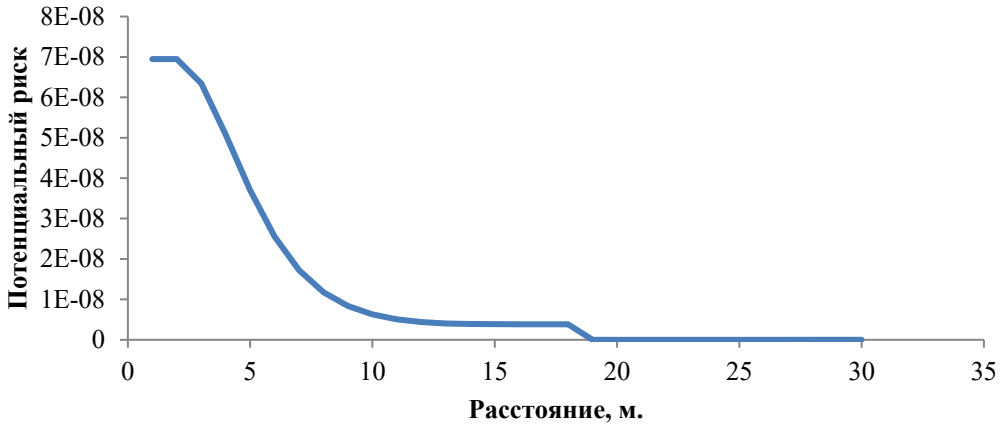

Рисунок 12 – График потенциального риска для объекта ТРК Nova (раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67))

Раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-95

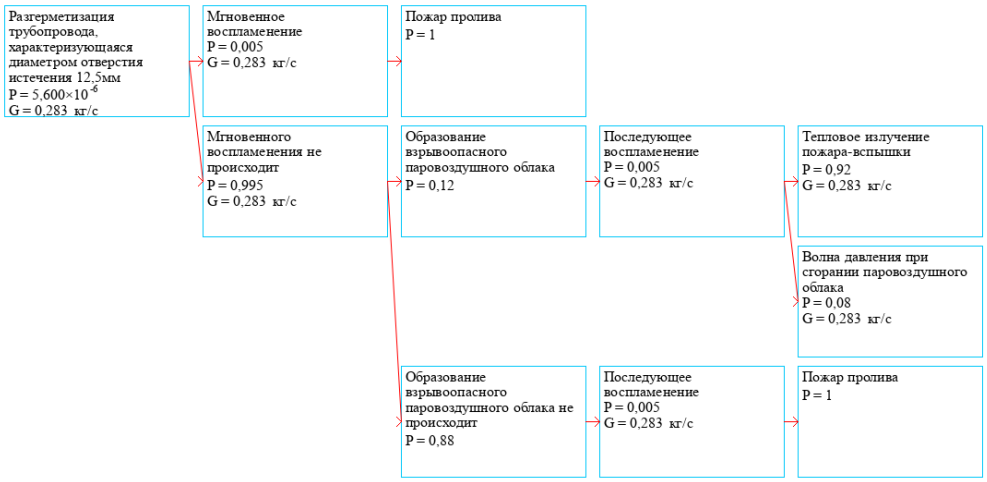

Рисунок 13 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

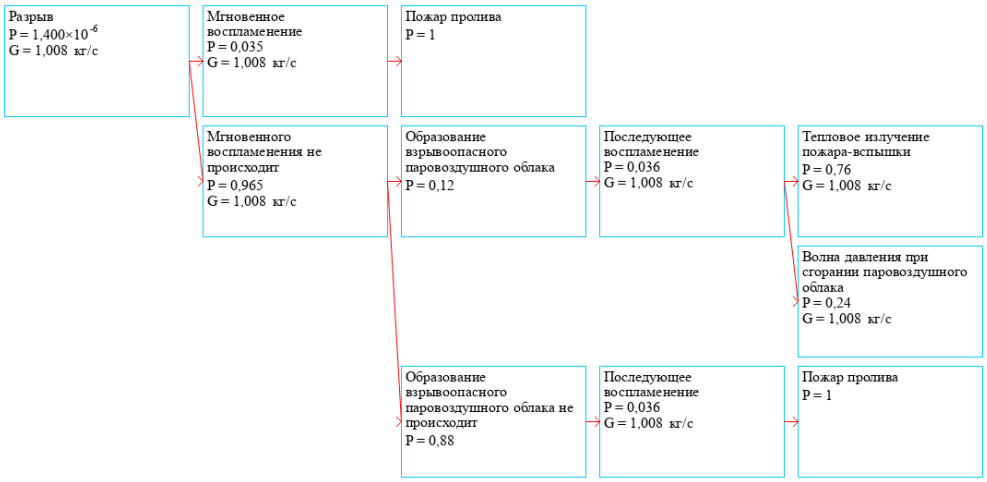

Рисунок 14 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 15 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (ТРК Nova)

№ сценария	Инициирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учтенные коэффициенты	Вероятность
17	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}800 \cdot 10^{-8}$
18	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с$=0	$3{,}076 \cdot 10^{-9}$
19	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с$=0	$2{,}675 \cdot 10^{-10}$
20	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}452 \cdot 10^{-8}$
21	Разрыв	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$4{,}900 \cdot 10^{-8}$
22	Разрыв	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с$=0	$4{,}436 \cdot 10^{-9}$
23	Разрыв	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с$=0	$1{,}401 \cdot 10^{-9}$
24	Разрыв	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$4{,}280 \cdot 10^{-8}$

где $P_т$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, $P_с$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

$$S_{об} = 3{,}14*0{,}01^2+3{,}14\times(12{,}5/1000)/2)^2 = 4{,}369\times10^{-4}\ м^2$$

$$q_{от} = 4{,}8/4{,}369\times10^{-4}\times3{,}14\times(12{,}5/1000)/2)^2 = 1{,}348\ м^3/час$$

$$V_1 = 1{,}348/3600\times120 = 0{,}16\ м^3$$

$$V_2 = 3{,}14\times0{,}01^2\times4 = 0{,}001\ м^3$$

$$V = 0{,}16 + 0{,}001 = 0{,}161\ м^3$$

$$F_п = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_п = 0,161 \times 756 = 121,91 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{4,892-691,456/(37+267,89)} = 420,43 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{99,1 \times 420,43} = 0,004$$

$$T = 121,91/(24,188 \times 0,004) = 1204,205 \text{ с}$$

$$m = 0,004 \times 24,188 \times 1204,205 = 121,91 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разрыв

$$S_{об} = 3,14*0,01^2+3,14 \times (20/1000)/2)^2 = 6,283 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8/6,283 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (20/1000)/2)^2 = 2,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 2,4/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_п = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_п = 0,161 \times 756 = 121,91 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{4,892-691,456/(37+267,89)} = 420,43 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{99,1 \times 420,43} = 0,004$$

$$T = 121,91/(24,188 \times 0,004) = 1204,205 \text{ с}$$

$$m = 0,004 \times 24,188 \times 1204,205 = 121,91 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № 17,20,21,24)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

$$\rho_п = 101,3 \times 99,1/(8,31 \times (273,15+0) = 4,423 \text{ кг/м}^3.$$

$$d = \sqrt{(4 \times 24,188/3,14)} = 5,551 \text{ м}^2.$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы П3.4 [1]:

$$m' = 0,06 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 60 \text{ кВт/м}^2.$$

$$u_* = 3{,}9/(0{,}06 \times 9{,}81 \times 5{,}551/4{,}423)^{1/3} = 4{,}314.$$

$$\rho_a = 101{,}3 \times 28{,}98/(8.31 \times (273{,}15+37) = 1{,}139 \text{ кг/м}^3.$$

$$L = 55 \times 5{,}551 \times (0{,}06/(1{,}139 \times \sqrt{(9{,}81 \times 5{,}551)})^{0{,}67}) \times 4{,}314^{0{,}21} = 15{,}135 \text{ м.}$$

$$\theta = \arccos(u_*^{-0{,}5}) = 1{,}068 \text{ рад.}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

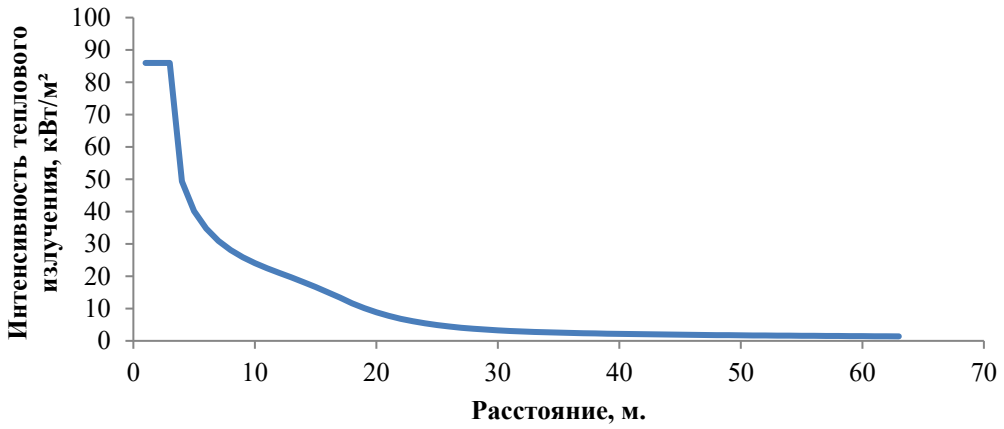

Рисунок 15 – График интенсивности теплового излучения

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № 19,23)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице П3.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

$$u = 43 \times 121{,}91^{1/6} = 95{,}751 \text{ м/с}$$

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

$$E = 44 \times 121{,}91 \times 10^6 \times 2 = 107 \times 10^8 \text{ Дж}$$

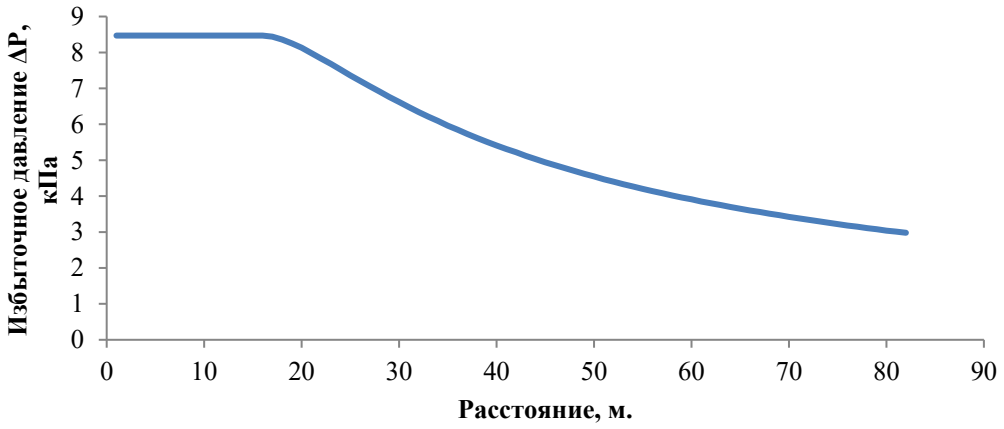

Рисунок 16 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

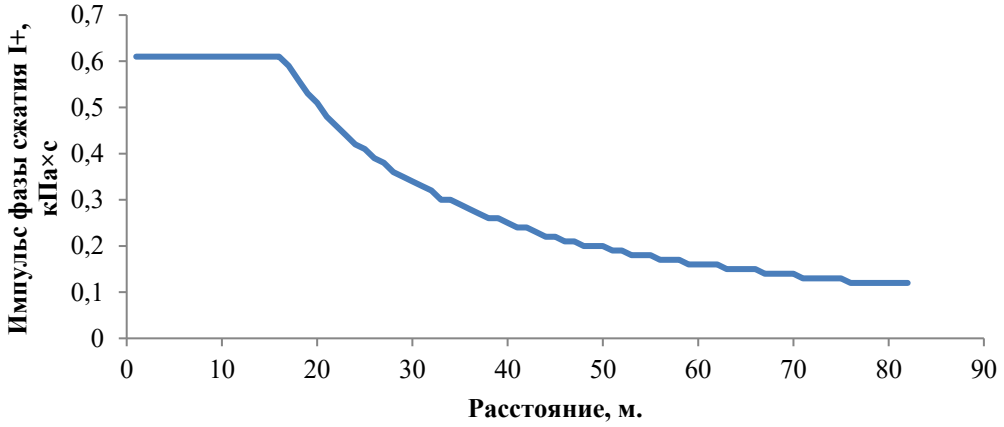

Рисунок 17 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № 18,22)

$$\rho = 99{,}1/22{,}413 \times (1+0{,}00367 \times 37.0)) = 3{,}893 \text{ кг}\times\text{м}^{-3}$$

$$R_{НКПР} = 7{,}8\times(121{,}91/3{,}893/0{,}92)^{0{,}33} = 24{,}98 \text{ м.}$$

$$Z_{НКПР} = 0{,}26\times(121{,}91/3{,}893/0{,}92)^{0{,}33} = 0{,}83 \text{ м.}$$

$$R_F = 1{,}2 \times 24{,}98 = 29{,}98 \text{ м.}$$

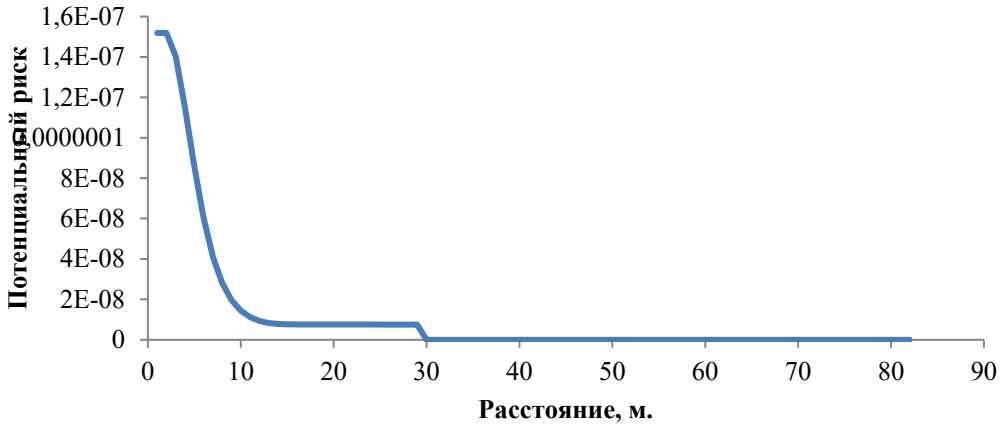

Рисунок 18 – График потенциального риска для объекта ТРК Nova (раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-95)

Раздаточный рукав с веществом Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)

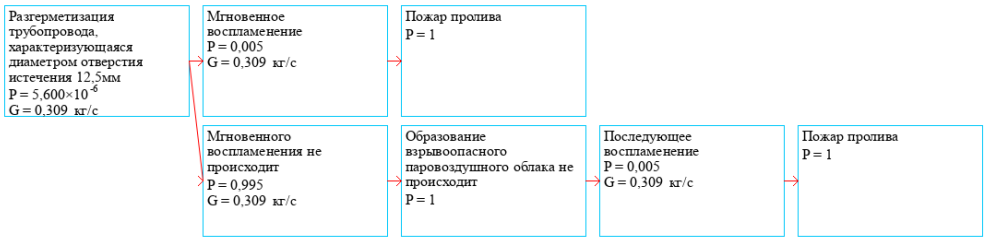

Рисунок 19 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

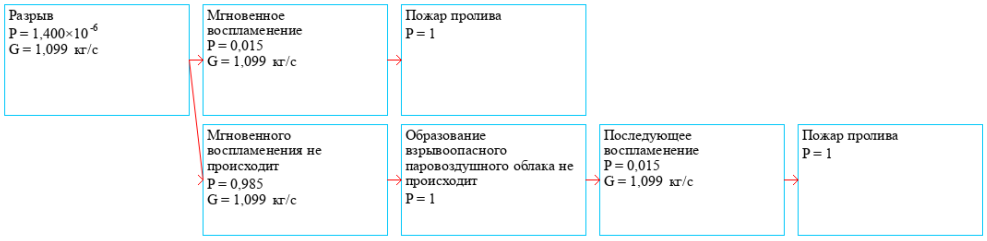

Рисунок 20 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 16 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (ТРК Nova)

№ сценария	Инициирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учтенные коэффициенты	Вероятность

25	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}800 \cdot 10^{-8}$
26	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}786 \cdot 10^{-8}$
27	Разрыв	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}100 \cdot 10^{-8}$
28	Разрыв	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}069 \cdot 10^{-8}$

где $P_т$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, $P_с$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5мм

$$S_{об} = 3{,}14*0{,}01^2+3{,}14\times(12{,}5/1000)/2)^2 = 4{,}369\times10^{-4}\ м^2$$

$$q_{от} = 4{,}8/4{,}369\times10^{-4}\times3{,}14\times(12{,}5/1000)/2)^2 = 1{,}348\ м^3/час$$

$$V_1 = 1{,}348/3600\times120 = 0{,}16\ м^3$$

$$V_2 = 3{,}14\times0{,}01^2\times4 = 0{,}001\ м^3$$

$$V = 0{,}16 + 0{,}001 = 0{,}161\ м^3$$

$$F_п = 150\times0{,}161 = 24{,}188\ м^2$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разрыв

$$S_{об} = 3{,}14*0{,}01^2+3{,}14\times(20/1000)/2)^2 = 6{,}283\times10^{-4}\ м^2$$

$$q_{от} = 4{,}8/6{,}283\times10^{-4}\times3{,}14\times(20/1000)/2)^2 = 2{,}4\ м^3/час$$

$$V_1 = 2{,}4/3600\times120 = 0{,}16\ м^3$$

$$V_2 = 3{,}14\times0{,}01^2\times4 = 0{,}001\ м^3$$

$$V = 0{,}16 + 0{,}001 = 0{,}161\ м^3$$

$$F_п = 150\times0{,}161 = 24{,}188\ м^2$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № 25,26,27,28)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

$$\rho_п = 101,3 \times 203,6/(8,31 \times (273,15+246) = 4,781 \text{ кг/м}^3.$$

$$d = \sqrt{(4 \times 24,188/3,14)} = 5,551 \text{ м}^2.$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы П3.4 [1]:

$$m' = 0,04 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 40 \text{ кВт/м}^2.$$

$$u_* = 3,9/(0,04 \times 9,81 \times 5,551/4,781)^{1/3} = 5,068.$$

$$\rho_a = 101,3 \times 28,98/(8.31 \times (273,15+37) = 1,139 \text{ кг/м}^3.$$

$$L = 55 \times 5,551 \times (0,04/(1,139 \times \sqrt{(9,81 \times 5,551)})^{0,67}) \times 5,068^{0,21} = 11,931 \text{ м.}$$

$$\theta = \arccos(u_*^{-0,5}) = 1,111 \text{ рад.}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

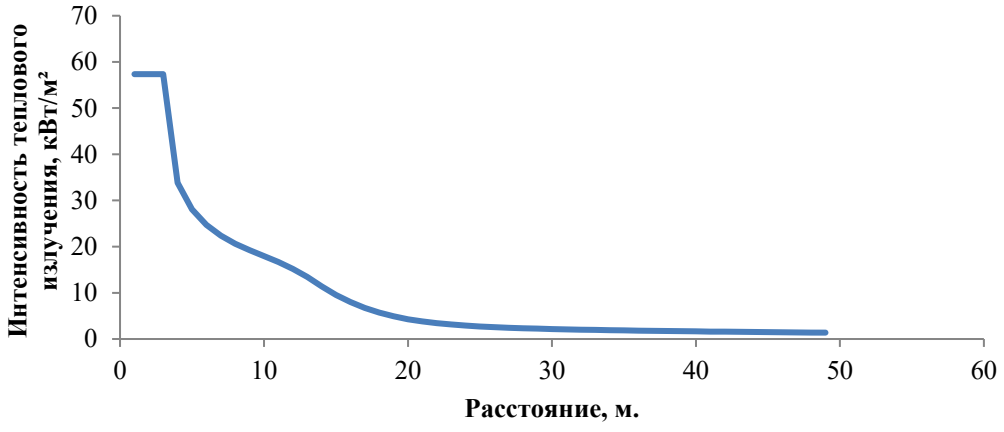

Рисунок 21 – График интенсивности теплового излучения

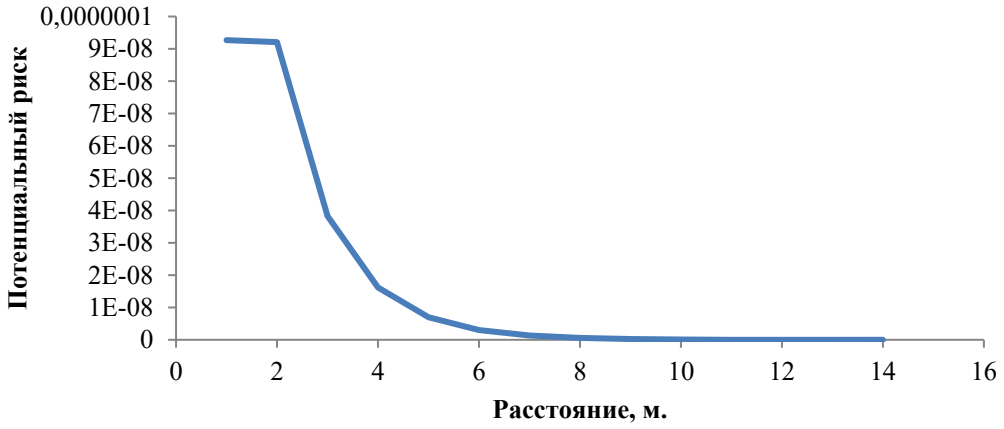

Рисунок 22 – График потенциального риска для объекта ТРК Nova (раздаточный рукав с веществом Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73))

Расчет значений потенциального риска для объекта "Автоцистерна"

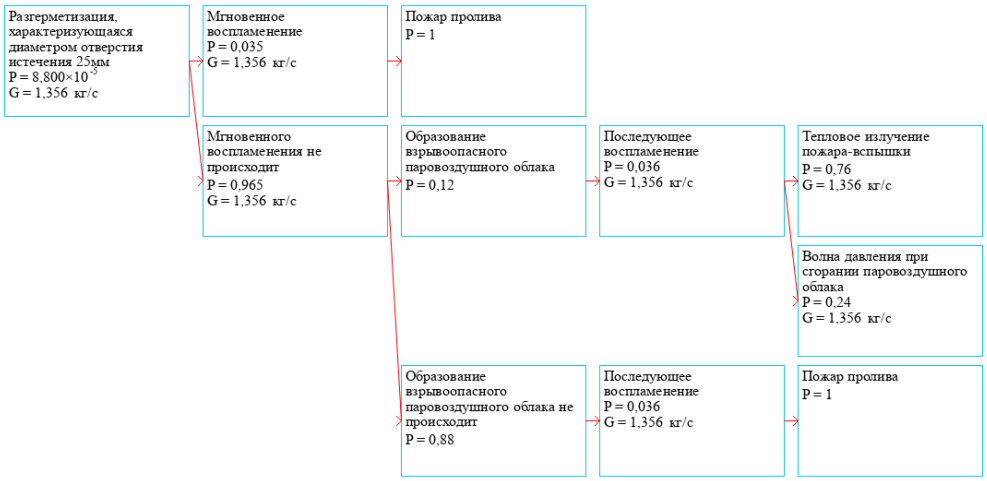

Рисунок 23 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм

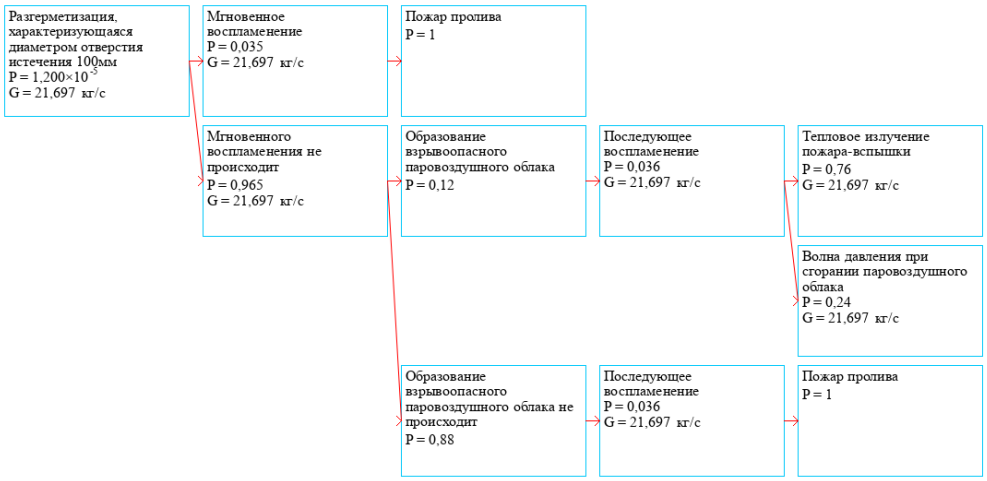

Рисунок 24 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм

Рисунок 25 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Полное разрушение

Таблица 17 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (Автоцистерна)

№ сценария	Инициирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учтенные коэффициенты	Вероятность
29	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$3{,}080\cdot10^{-6}$
30	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с$=0	$2{,}788\cdot10^{-7}$
31	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с$=0	$8{,}805\cdot10^{-8}$
32	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}690\cdot10^{-6}$
33	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$4{,}200\cdot10^{-7}$
34	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с$=0	$3{,}802\cdot10^{-8}$

35	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с$=0	$1{,}201 \cdot 10^{-8}$
36	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$3{,}669 \cdot 10^{-7}$
37	Полное разрушение	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$10{,}000 \cdot 10^{-7}$
38	Полное разрушение	Образование огненного шара	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}500 \cdot 10^{-11}$
39	Полное разрушение	Взрыв установки с перегретой жидкостью	$P_т$=0 $P_с$=0	$2{,}500 \cdot 10^{-11}$
40	Полное разрушение	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_с$=0	$4{,}608 \cdot 10^{-8}$
41	Полное разрушение	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_с$=0	$6{,}912 \cdot 10^{-8}$
42	Полное разрушение	Пожар пролива	$P_т$=0 $P_с$=0	$8{,}448 \cdot 10^{-7}$

где $P_т$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, $P_с$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет параметров пожароопасных событий для объекта Автоцистерна при его нахождении на свободной площадке

Расчет необходимых параметров для расчета сценариев с инициирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм

Так как, время истечения не ограничено из аппарата выйдет весь объем вещества

$$V_ж = 60 \times 0{,}8 = 48 \text{ м}^3$$

$$F_п = 150 \times 48 = 7200 \text{ м}^2$$

$$m_п = 48 \times 780 = 37440 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{5{,}645-890{,}461/(37+302{,}468)} = 1051{,}968 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{101{,}1 \times 1051{,}968} = 0{,}011$$

$$T = 37440/(7200 \times 0{,}011) = 491{,}615 \text{ с}$$

$$m = 0{,}011 \times 7200 \times 491{,}615 = 37440 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для расчета сценариев с инициирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм

Так как, время истечения не ограничено из аппарата выйдет весь объем вещества

$$V_ж = 60 \times 0{,}8 = 48 \text{ м}^3$$

$$F_п = 150 \times 48 = 7200 \text{ м}^2$$

$$m_п = 48 \times 780 = 37440 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{5{,}645-890{,}461/(37+302{,}468)} = 1051{,}968 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{101{,}1 \times 1051{,}968} = 0{,}011$$

$$T = 37440/(7200 \times 0{,}011) = 491{,}615 \text{ с}$$

$$m = 0{,}011 \times 7200 \times 491{,}615 = 37440 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для расчета сценариев с инициирующим событием Полное разрушение

Так как, технологическая установка не ограничена обвалованием или (ограждением) выйдет весь объем содержимого вещества:

$$V_ж = 48 = 48 \text{ м}^3$$

Площадь пролива указанного выше количества вещества определялась по формуле П.3.27 [2]:

$$F = f_р \times V_ж \qquad (44)$$

где f - удельная площадь розлива, $м^{-1}$,
V- объем вышедшей жидкости, $м^3$.

$$F_{ПРХ} = 150 \times 48 = 7200 \text{ м}^2$$

$$m_п = 48 \times 780 = 37440 \text{ кг}$$

$$P_Н = 10^{5{,}645-890{,}461/(37+302{,}468)} = 1051{,}968 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times \sqrt{101{,}1 \times 1051{,}968} = 0{,}011$$

$$T = 37440/(7200 \times 0{,}011) = 491{,}615 \text{ с}$$

$$m = 0{,}011 \times 7200 \times 491{,}615 = 37440 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № 29,32,33,36,37,42)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

$$\rho_п = 101{,}3 \times 101{,}1/(8{,}31 \times (273{,}15+0) = 4{,}512 \text{ кг/м}^3.$$

$$d = \sqrt{(4 \times 7200/3{,}14)} = 95{,}77 \text{ м}^2.$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы П3.4 [1]:

$$m' = 0{,}06 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 25 \text{ кВт/м}^2.$$

$$u_* = 3{,}9/(0{,}06 \times 9{,}81 \times 95{,}77/4{,}512)^{1/3} = 1{,}681.$$

$$\rho_a = 101{,}3 \times 28{,}98/(8.31 \times (273{,}15+37) = 1{,}139 \text{ кг/м}^3.$$

$$L = 55 \times 95{,}77 \times (0{,}06/(1{,}139 \times \sqrt{(9{,}81 \times 95{,}77)})^{0{,}67}) \times 1{,}681^{0{,}21} = 82{,}511 \text{ м.}$$

$$\theta = \arccos(u_*^{-0{,}5}) = 0{,}69 \text{ рад.}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

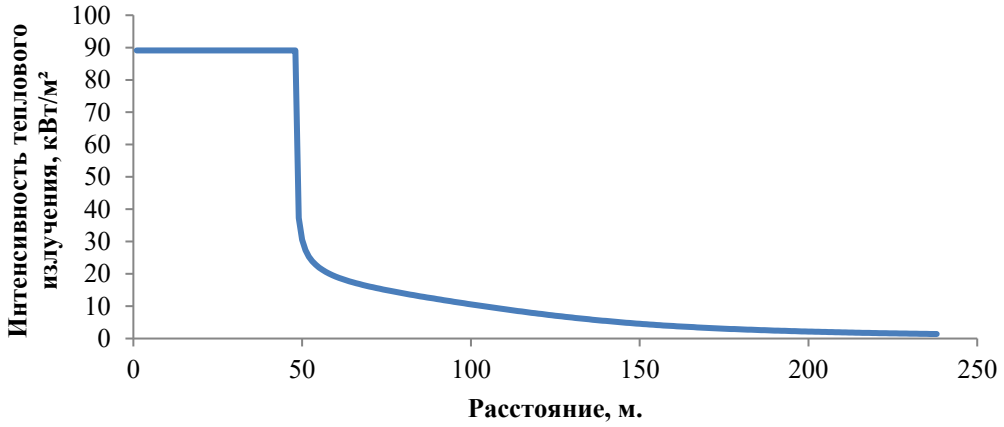

Рисунок 26 – График интенсивности теплового излучения

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № 31,35,41)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице П3.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

$$u = 43 \times 37440^{1/6} = 248{,}709 \text{ м/с}$$

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

$$E = 44 \times 37440 \times 10^6 \times 2 = 329 \times 10^{10} \text{ Дж}$$

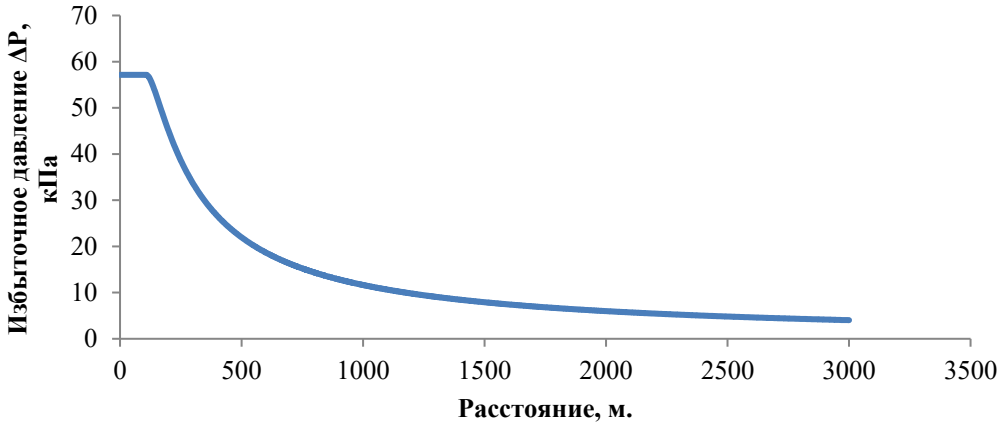

Рисунок 27 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

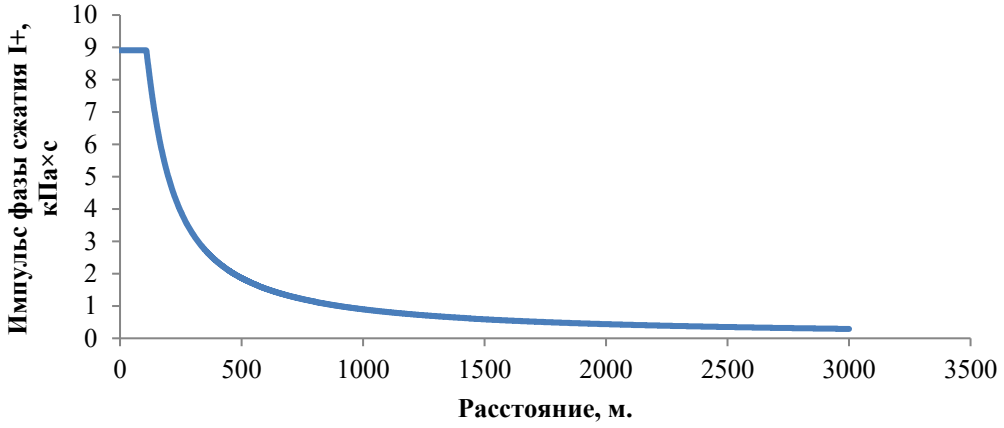

Рисунок 28 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № 30,34,40)

$$\rho = 101{,}1/22{,}413 \times (1+0{,}00367 \times 37.0)) = 3{,}971 \text{ кг}\times\text{м}^{-3}$$

$$R_{НКПР} = 7{,}8\times(37440/3{,}971/0{,}83)^{0{,}33} = 169{,}96 \text{ м.}$$

$$Z_{НКПР} = 0{,}26\times(37440/3{,}971/0{,}83)^{0{,}33} = 5{,}67 \text{ м.}$$

$$R_F = 1{,}2 \times 169{,}96 = 203{,}95 \text{ м.}$$

Определение интенсивности теплового излучения огненного шара (сценарий № 38)

Эффективный диаметр огненного шара D_s, м, определялся по формуле П3.64 [2]:

$$D_S = 6{,}48m^{0{,}325} \tag{45}$$

где m - масса продукта, поступившего в окружающее пространство, кг.

$$D_S = 6{,}48 \times 37440^{0{,}325} = 198{,}568 \text{ м.}$$

Время существования огненного шара t_s, с, определялась по формуле П3.65 [2]:

$$t_S = 0{,}852m^{0{,}26} \tag{46}$$

$$t_s = 0{,}852 \times 37440^{0{,}26} = 13{,}168 \text{ с.}$$

При расчете теплового излучения огненного шара среднеповерхностную интенсивность теплового излучения E_f допускается принимат равной 350 кВт/м^2

E_f = 350 кВт/м^2.

Высоту центра огненного шара допускается принимать равной D_S.

$$H = 198{,}568 \text{ м.}$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывался по формуле П3.66 [2]:

$$\tau = exp\left[-7{,}0 \times 10^{-4}\left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_S}{2}\right)\right] \tag{47}$$

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

Значение F_q определялось по формуле П3.63 [2]:

$$F_q = \frac{D_S^2}{4(H^2 + r^2)} \tag{48}$$

Интенсивность теплового излучения q, кВт/м^2, для огненного шара

определялась по формуле П3.52 [2]:

$$q = E_f F_q \tau \quad (49)$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1,4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

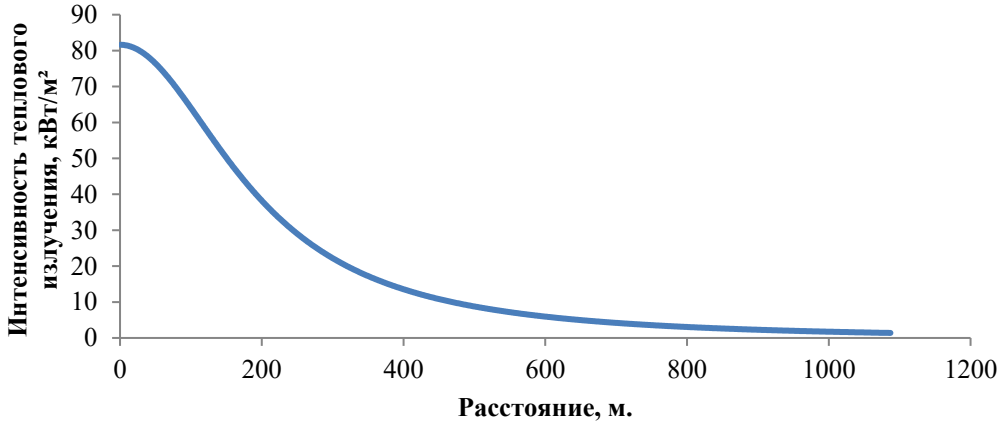

Рисунок 29 – График интенсивности теплового излучения при образовании огненного шара

Определение параметров волны давления при взрыве установки с перегретым веществом (сценарий № 39)

График потенциального риска для объекта Автоцистерна

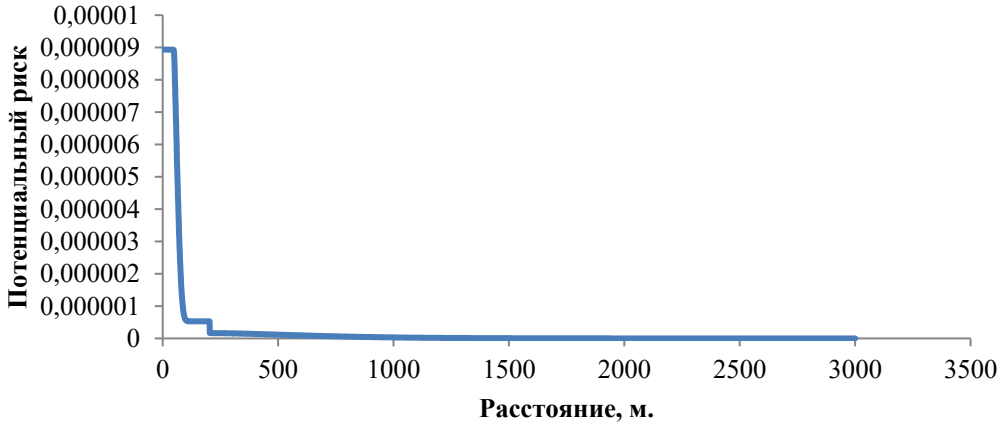

Рисунок 30 – График потенциального риска для объекта Автоцистерна

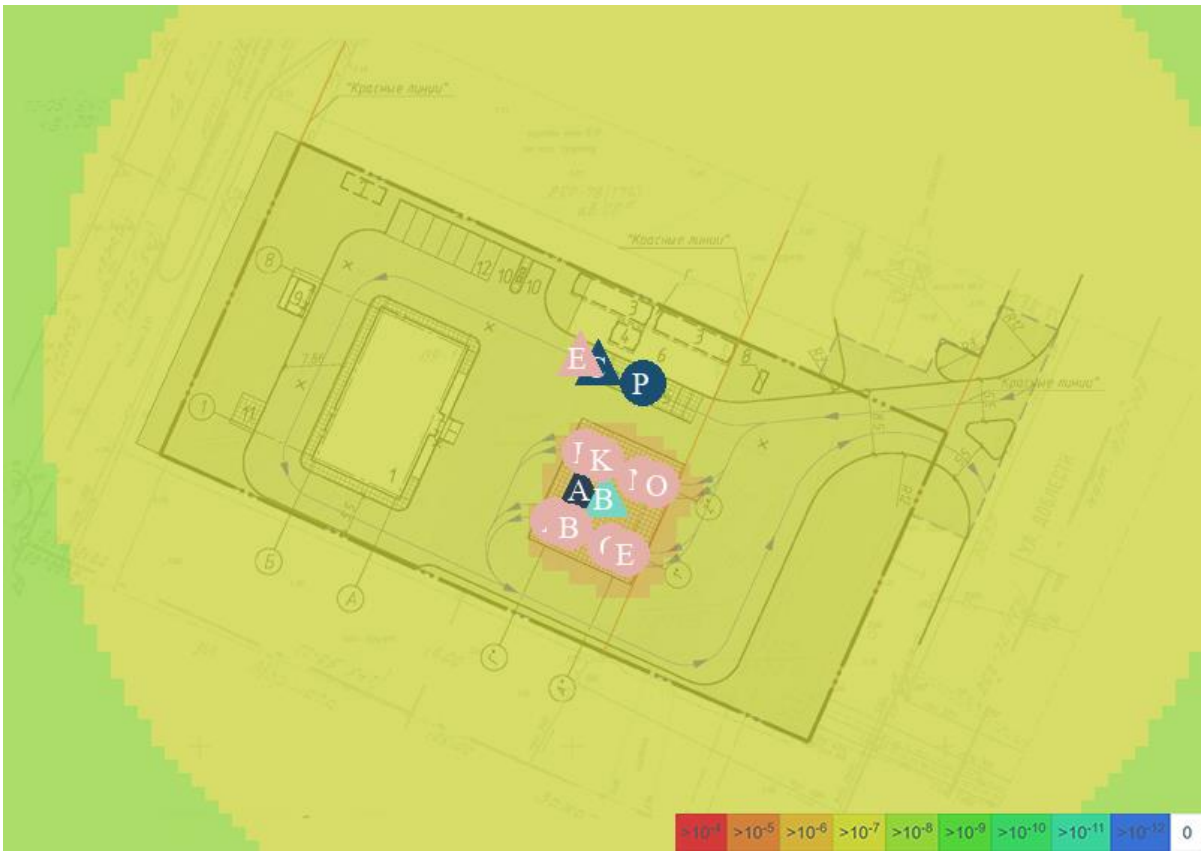

Рисунок 31 – Схема территории объекта с зонами риска

Таблица 18 – Список технологических установок на территории

Название	Цветовое обозначение
ТРК Nova	
Автоцистерна	

Таблица 19 – Представители профессий пребывающих на территории

Профессия	Количество рабочих дней в году	Цветовое обозначение
Оператор	247	
Водитель автоцистерны	247	
Заправщик	247	
Посетитель	365	

Вероятность присутствия работника в зоне на территории

определяется как соотношение рабочих часов в течение года к общему количеству часов в году. Расчетом принято, что в году 8760 часов (365 дней по 24 часа).

Таблица 20 – Вероятность присутствия работника в зоне на территории

Зона	**Профессия**	**Время присутствия на территории, часов в сутки**	**Вероятность присутствия**
E	Оператор	1	0,028
C	Водитель автоцистерны	1	0,028
B	Заправщик	4	0,113
A	Посетитель	0.05	0,002

Таблица 21 – Список объектов находящихся в селитебной зоне

Название	**Количество людей**	**Цветовое обозначение**
Жилой дом №1	120	

Таблица 22 – Итоговая таблица значений пожарных рисков на территории производственного объекта

Профессия	**Зона**	**Вероятность присутствия**	**Индивидуальный пожарный риск в зданиях**	**Индивидуальный пожарный риск на территории**	**Нормативное значение**	**Итоговый индивидуальный пожарный риск на территории**
Оператор	E	0,028	$1{,}500 \cdot 10^{-7}$	$1{,}637 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1{,}664 \cdot 10^{-7}$
Водитель автоцистерны	C	0,028		$1{,}675 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1{,}675 \cdot 10^{-8}$
Заправщик	B	0,113	$1{,}200 \cdot 10^{-7}$	$1{,}992 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$3{,}192 \cdot 10^{-7}$
Посетитель	A	0,002	$1{,}000 \cdot 10^{-7}$	$3{,}530 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1{,}035 \cdot 10^{-7}$

Вывод об условиях соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности

1. Анализ пожарной опасности объекта защиты: «АЗС № 125» проведен с учётом технологических параметров ведения процессов, конструктивных особенностей и размещения технологического оборудования и в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов.

- индивидуальный пожарный риск на объекте защиты:

$$R_{m(р)} = 3{,}192 \cdot 10^{-7} \leq R_{m(н)} = 1{,}000 \cdot 10^{-6}$$

- индивидуальный пожарный риск в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта:

$$R_{(р)} = 2{,}370 \cdot 10^{-8} > R_{(н)} = 1{,}000 \cdot 10^{-8}$$

Литература

1. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ
2. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 N 404 (ред. от 14.12.2010) "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 N 14541)
3. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изм., утв. приказом МЧС России от 9 декабря 2010 г. № 643).
4. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2012. 242 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. Измененная редакция, Изм. № 1.
6. ГОСТ 12.1.044-89*. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
7. НПБ 23-2001. Пожарная опасность технологических сред. Номенклатура показателей.
8. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ. изд.: в 2 книгах / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. − М.: Химия, 1990. – ISBN 5-7245-0408-1.
9. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. − М.: Ассоциация «Пожнаука», 2004. − ISBN 5-901283-02-3.