Производственный объект
Расчет пожарного риска

PromRisk 3.20.5

Оглавление

1. Наименование и адрес объекта защиты

Наименование объекта защиты: Производственный объект.

Адрес: /адрес объекта/.

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

Цель работы – определение величин пожарного риска для объекта защиты, сравнение их с нормативными значениями и, при необходимости, разработка дополнительных противопожарных мероприятий.

Расчет величин пожарного риска проводился в соответствии с порядком, определенным постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [2], по «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденной приказом МЧС России от 26.06.2024 г. № 533 [3].

Расчет выполнен с помощью программного обеспечения «PromRisk», которое имеет сертификат соответствия требованиям нормативных документов в области пожарной безопасности, включено в реестр российского программного обеспечения (№ 9107 от 16.02.2021) и в фонд алгоритмов и программ для ЭВМ МЧС России в области обеспечения пожарной безопасности.

2. Исходные данные для проведения расчета

2.1. Наименование и место расположения объекта защиты

Наименование объекта защиты: Производственный объект.

Объект расположен по адресу: /адрес объекта/.

2.2. Данные о природно-климатических условиях

Характеристики климатической зоны приняты по [6] (Ивановская область, Иваново).

Максимальная температура воздуха в климатической зоне: 38 °С.

Повторяемость ветра:

направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
вероятность, %	13	14	12	7	12	15	14	13

Максимальная скорость ветра: 4 м/с.

Вероятность штиля: 11 %.

2.3. Характеристики территории

2.3.1. Территория объекта

Граница объекта

Параметр	Значение
Класс загроможденности пространства	III - средне загроможденное пространство
Тип поверхности	Спланированное грунтовое покрытие
Площадь на плане	19950 м²

Производственное здание_01

Параметр	Значение
Площадь на плане	128 м²
Высота	4 м
Потенциальный риск	$7{,}912 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$

Обвалование_01

Параметр	Значение
Класс загроможденности пространства	III - средне загроможденное пространство
Тип поверхности	Спланированное грунтовое покрытие
Площадь на плане	3840 м²
Высота обвалования	1 м

Обвалование_02

Параметр	Значение
Класс загроможденности пространства	III - средне загроможденное пространство
Тип поверхности	Спланированное грунтовое покрытие
Площадь на плане	608 м²
Высота обвалования	0,2 м

2.3.2. Жилые, общественно-деловые и рекреационные зоны вблизи объекта

Здание в селитебной зоне_01

Параметр	Значение
Площадь	200 м²
Высота	4 м

2.4. Характеристики применяемых горючих веществ и материалов

2.4.1. Бензол

Параметр	Значение
Описание	C6 H6
Теплота сгорания	42,266 МДж/кг
Молярная масса	78,11 кг/кмоль
Плотность жидкости	873,7 кг/м³
Температура вспышки	-11 °C
Температура кипения	80,1 °C
Нижний концентрационный предел распространения пламени	1,43 % об.
Массовая скорость выгорания	0,11 кг/(с·м²)
Константа Антуана A	5,61391
Константа Антуана B	902,275
Константа Антуана Ca	178,099
Класс чувствительности	4
Корректировочный параметр	1

2.5. Характеристики технологического оборудования

2.5.1. РВС_01

Параметр	Значение
Горючая нагрузка	Бензол
Типовые аварийные события	да
Объем	1000 м³
Высота столба жидкости	12 м
Температура жидкости	38 °C
Диаметр	10,5 м
Высота	12 м

2.6. Характеристики применяемых систем безопасности

Приводятся данные:

о наличии и местах размещения запорной арматуры;

о чувствительности и времени срабатывания систем контроля утечек, газоанализаторов;

о наличии систем контроля и управления системами безопасности, их алгоритмах работы при развитии аварии и иное (при необходимости).

3. Наименование использованной методики расчета по оценке пожарного риска

Расчет величин пожарного риска проводился в соответствии с порядком, определенным постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [2], по «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденной приказом МЧС России от 26.06.2024 г. № 533 [3].

3.1. Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта

Индивидуальный пожарный риск для работников и посетителей объекта оценивается частотой поражения определенного работника и посетителя объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

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

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

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

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

Величина индивидуального риска R_m (год$^{-1}$) для работника (посетителя) m при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{n=1}^{N} P_n \cdot q_{nm},$$

где P_n – величина потенциального риска в n-ом помещении здания, год$^{-1}$;

q_{nm} – вероятность присутствия работника (посетителя) m в n-ом помещении;

N – число помещений в здании.

Индивидуальный риск работника (посетителя) m объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника на территории и в зданиях объекта.

Вероятности q_{im} и q_{nm} определяются исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в i-ой области территории и/или в n-ом помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта.

3.2. Индивидуальный пожарный риск для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта

Для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск принимается на основе потенциального риска в этих зонах и доли времени присутствия людей в зданиях, прочих открытых территориях, расположенных в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи производственного объекта и вычисляется по формуле:

$$R_i = P_i \cdot q_i,$$

где P_i – величина потенциального риска в месте расположения указанных зданий, а также прочих открытых территорий в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах, год$^{-1}$;

q_i – доля времени присутствия, принимаемая:

для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1 – 1;

для зданий классов функциональной пожарной опасности Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5 – доля времени присутствия людей в соответствии с организационно-распорядительными документами для этих зданий;

для прочих открытых территорий в общественно-деловой или рекреационных зонах определяется на основе времени нахождения в них людей, а при отсутствии сведений ее следует принимать равной 1.

3.3. Социальный пожарный риск для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта

Социальный пожарный риск принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта, социальный риск S (год$^{-1}$) определяется по формуле:

$$S = \sum_{j=1}^{L} Q_j,$$

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

N_j – среднее количество погибших людей в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта в результате реализации j-го сценария в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва.

Величина N_j определяется по формуле:

$$N_j = \sum_{i=1}^{I} Q_{dij} \cdot n_i,$$

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 количество людей, находящихся в i-ой области.

4. Анализ пожарной опасности объекта защиты

Расчет по оценке пожарного риска проводится с целью подтверждения условия соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности при отступлении от требований нормативных документов по пожарной безопасности, а именно:

1) ...;

2) ...;

3) ...;

4.1. Описание места расположения объекта защиты

(описание места расположения объекта защиты)

4.2. Расчетные данные о времени пребывания людей на территории и вблизи объекта защиты

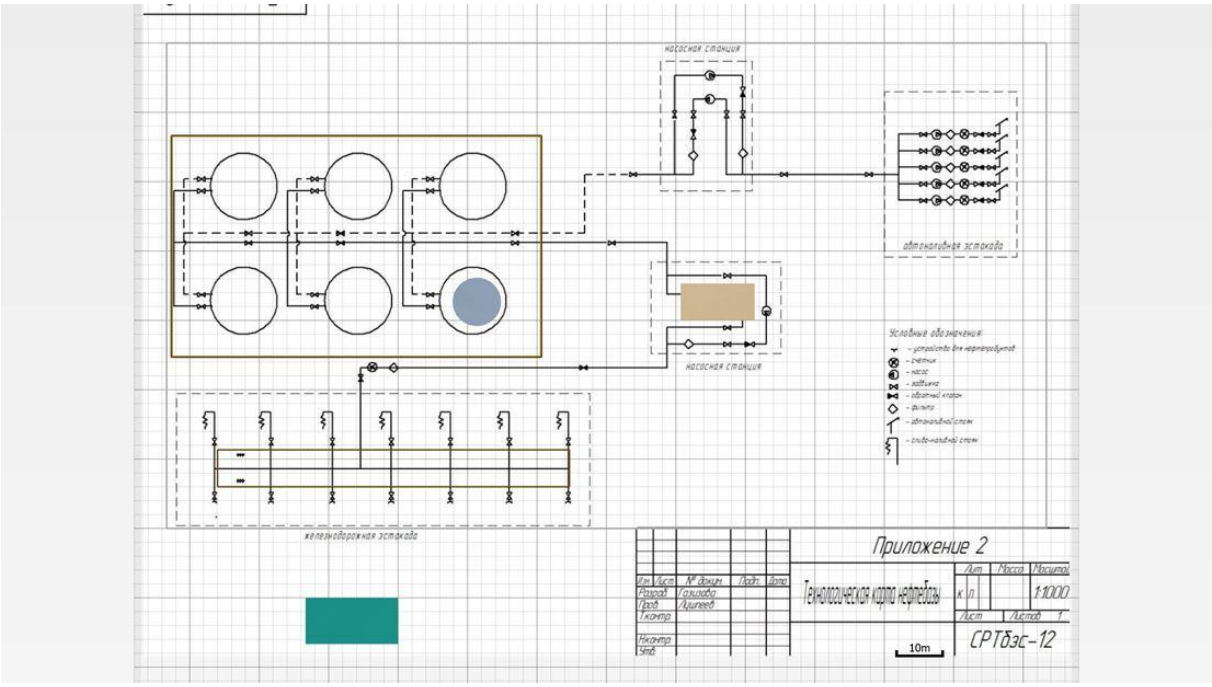
Продолжительность и вероятности нахождения людей на участках территории объекта и в зданиях приведены в таблице.

Вероятность нахождения людей

Группа людей	Здание, область территории	q_{im}
Персонал объекта		
Операторы нефтебазы	Граница объекта (12 ч. в день, 247 дн. в год), в т.ч.:	0,33836
	- Производственное здание_01 (4 ч. в день, 247 дн. в год)	0,11279
	- Обвалование_01 (2 ч. в день, 247 дн. в год)	0,05639
	- Обвалование_02 (2 ч. в день, 247 дн. в год)	0,05639
	- ост. часть территории	0,11279
Население		
Жители двуквартирного дома (12 чел.)	Здание в селитебной зоне_01 (24 ч. в день, 365 дн. в год)	1

4.3. Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов

(анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов)



Общий вид модели объекта

4.4. Определение инициирующих пожароопасные ситуации событий и построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций на рассматриваемом объекте в соответствии с [3] был использован метод логических деревьев событий. Построение логических деревьев событий, лежащих в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого объекта, осуществлялось исходя из следующих предпосылок.

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

- разгерметизация резервуаров с образованием пролива в обваловании,

- полное разрушение резервуаров с образованием пролива в обваловании и переливом части жидкости за пределы обвалования,

- разгерметизация или полное разрушение трубопроводов топлива в пределах обвалования с образованием пролива в обваловании,

- разгерметизация или полное разрушение трубопроводов топлива за пределами обвалования с образованием пролива на свободной поверхности,

- разгерметизация гибких соединений при проведении сливо-наливных операций на сливной площадке для автоцистерны с образованием пролива на свободной поверхности,

- разрыв линии подачи топлива из ТРК в автомобили.

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

3. Реализация инициирующих пожароопасные ситуации событий, связанных с разгерметизацией резервуаров и трубопроводов, приводит к образованию пролива в пределах обвалования, а в случае полного разрушения резервуара также и к проливу вне обвалования.

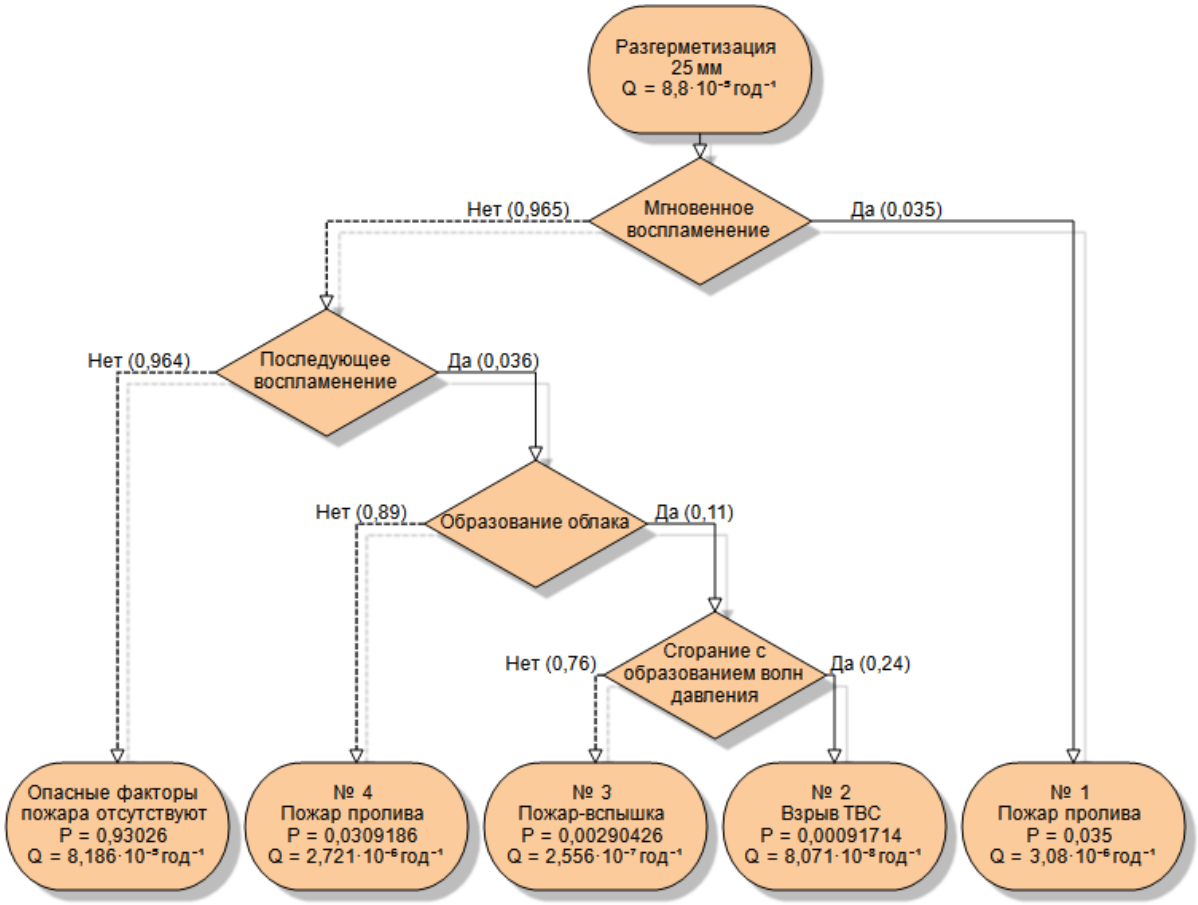
4. Условные вероятности и последовательность событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, приняты согласно приложению 2 методики [3].

5. Определение перечня пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

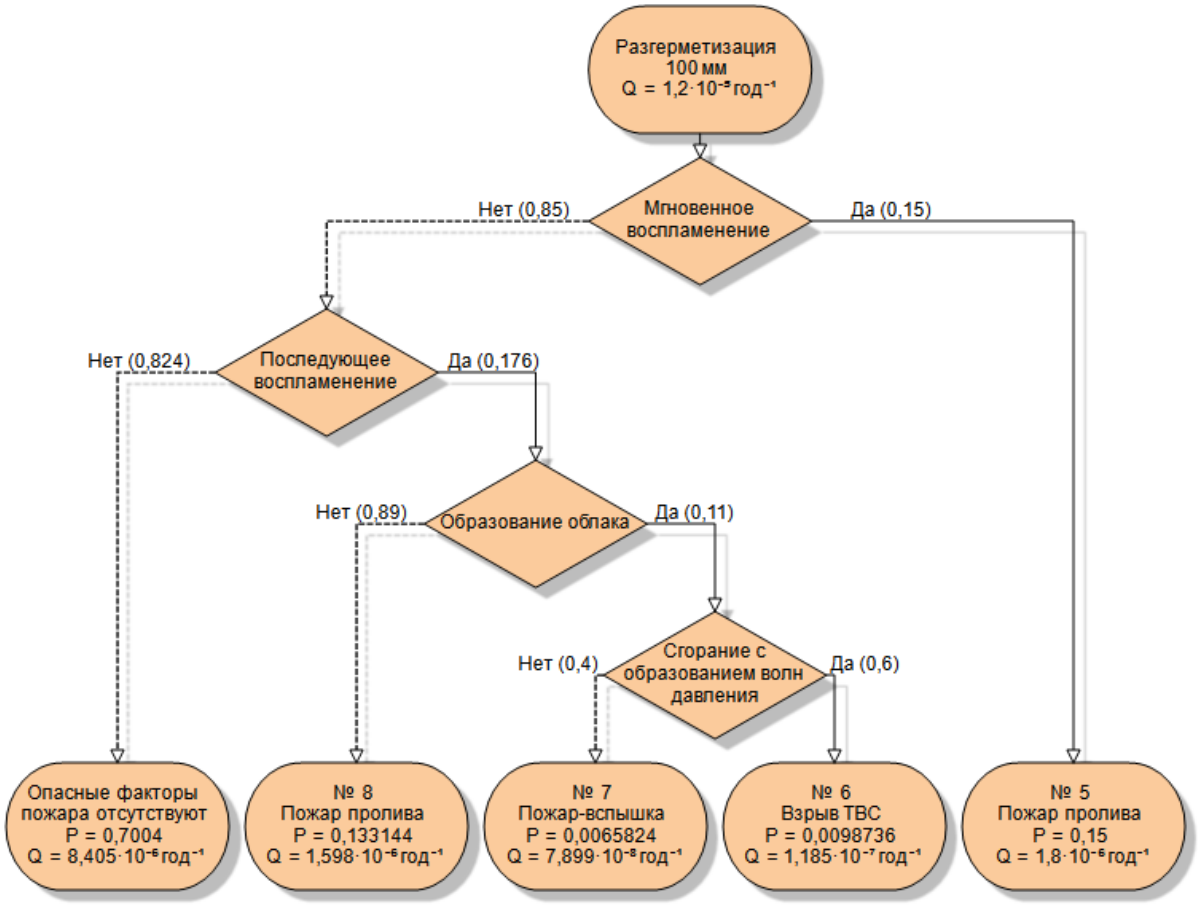
Частота реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий на оборудовании, частоты утечек из технологических трубопроводов – принимались в соответствии с приложением 1 методики [3].

5.1. РВС_01

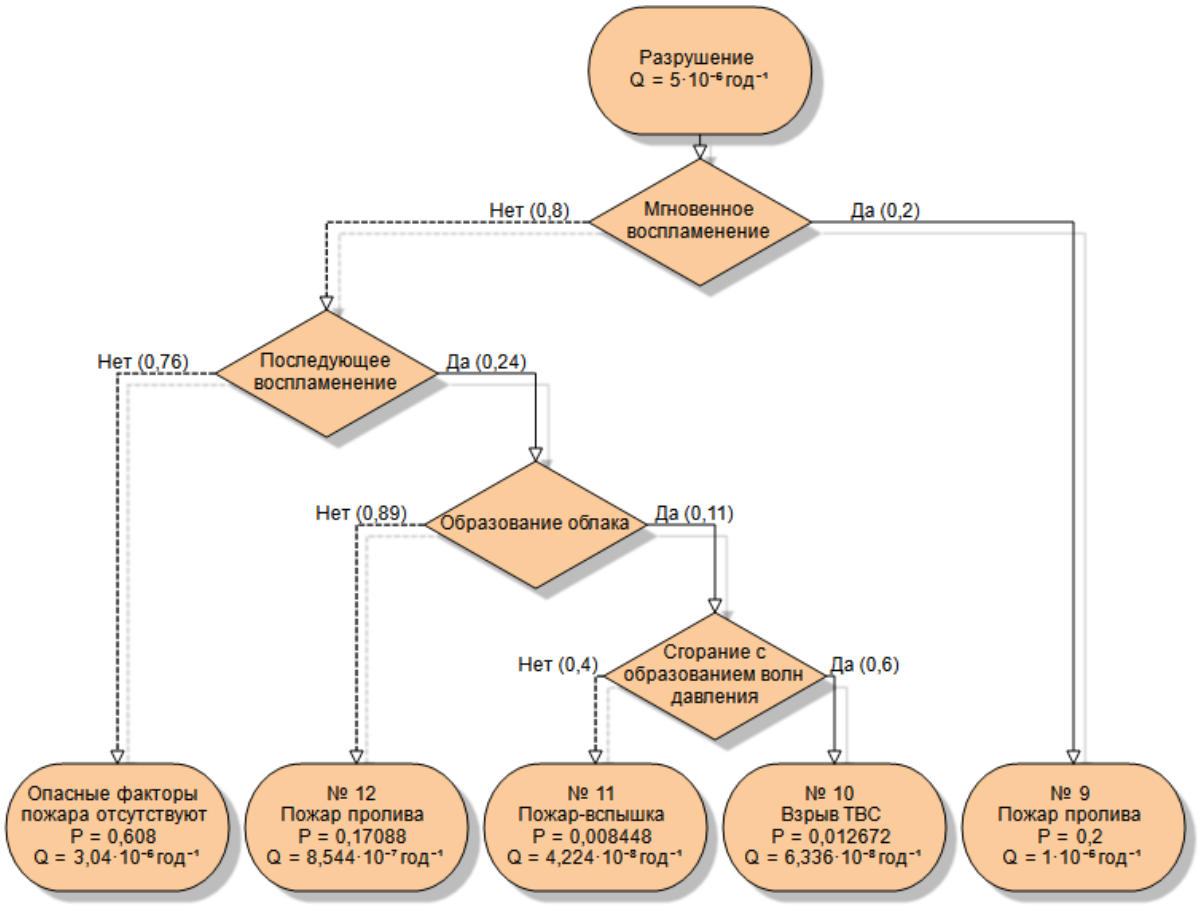
Сценарии развития пожароопасных ситуаций:



Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разгерметизация 25 мм»



Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разгерметизация 100 мм»



Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разрушение»

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Номер сценария	Сценарий развития пожароопасной ситуации	Частота возникновения, год$^{-1}$
Разгерметизация 25 мм		
1	Пожар пролива	$3{,}08 \cdot 10^{-6}$
2	Взрыв ТВС	$8{,}071 \cdot 10^{-8}$
3	Пожар-вспышка	$2{,}556 \cdot 10^{-7}$
4	Пожар пролива	$2{,}721 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 100 мм		
5	Пожар пролива	$1{,}8 \cdot 10^{-6}$
6	Взрыв ТВС	$1{,}185 \cdot 10^{-7}$
7	Пожар-вспышка	$7{,}899 \cdot 10^{-8}$
8	Пожар пролива	$1{,}598 \cdot 10^{-6}$
Разрушение		
9	Пожар пролива	$1 \cdot 10^{-6}$
10	Взрыв ТВС	$6{,}336 \cdot 10^{-8}$
11	Пожар-вспышка	$4{,}224 \cdot 10^{-8}$
12	Пожар пролива	$8{,}544 \cdot 10^{-7}$
Пожар на дыхательной арматуре		
13	Пожар на дыхательной арматуре	$9 \cdot 10^{-5}$
Пожар по поверхности		
14	Пожар по поверхности	$9 \cdot 10^{-5}$
Итого по типам сценариев:		
Пожар пролива (5,8 %)		$1{,}105 \cdot 10^{-5}$
Взрыв ТВС (0,1 %)		$2{,}626 \cdot 10^{-7}$
Пожар-вспышка (0,2 %)		$3{,}768 \cdot 10^{-7}$
Пожар на дыхательной арматуре (47 %)		$9 \cdot 10^{-5}$
Пожар по поверхности (47 %)		$9 \cdot 10^{-5}$
Всего		$1{,}917 \cdot 10^{-4}$

Подробный расчет частоты возникновения опасных факторов пожара приведен в главе «Построение полей опасных факторов пожара».

6. Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций

6.1. PBC_01

6.1.1. Разгерметизация 25 мм

Частота возникновения: $8{,}8 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{ж} = \mu \cdot \pi d^2/4 \cdot \sqrt{2gH_{ж}} = 0{,}7 \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 10^{-6}/4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 12} = 0{,}0053 \text{ м}^3\text{/с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{ж} = Q_{ж} \cdot \rho_{ж} = 0{,}0053 \cdot 873{,}7 = 4{,}606 \text{ кг/с}.$$

Максимальное время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{ж} = 0{,}0053 \cdot 3600 = 0{,}0053 \cdot 3600 = 18{,}981 \text{ м}^3.$$

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{ж} = V_{ж} \cdot \rho_{ж} = 18{,}981 \cdot 873{,}7 = 16583{,}4 \text{ кг}.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{П} = f_{Р} \cdot V_{ж} = 20 \cdot 18{,}981 = 379{,}6 \text{ м}^2.$$

Поверхность пролива ограничивается обвалованием. Площадь пролива составляет $379{,}6$ м².

Давление насыщенных паров при температуре 38 °С составляет:

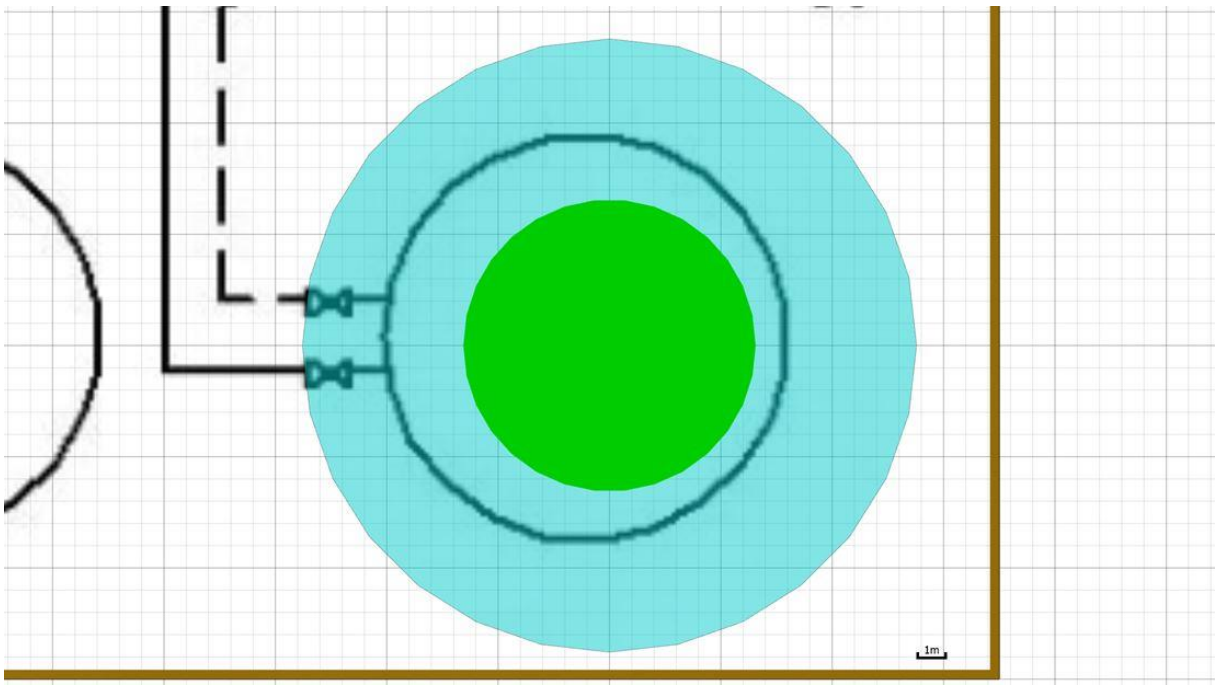
$$P_{Н} = 10^{\left(A - \frac{B}{t+Ca}\right)} = 10^{\left(5{,}61391 - \frac{902{,}275}{38+178{,}099}\right)} = 27{,}455 \text{ кПа}.$$

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{Н} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{78{,}11} \cdot 27{,}455 = 2{,}426 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с·м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{п} = W \cdot F_{П} \cdot 3600 = 2{,}426 \cdot 10^{-4} \cdot 379{,}6 \cdot 3600 = 331{,}6 \text{ кг}.$$



Разгерметизация 25 мм

6.1.2. Разгерметизация 100 мм

Частота возникновения: $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{ж} = \mu \cdot \pi d^2/4 \cdot \sqrt{2gH_{ж}} = 0{,}7 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 10^{-6}/4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 12} = 0{,}0844 \text{ м}^3\text{/с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{ж} = Q_{ж} \cdot \rho_{ж} = 0{,}0844 \cdot 873{,}7 = 73{,}704 \text{ кг/с}.$$

Максимальное время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{ж} = 0{,}0844 \cdot 3600 = 0{,}0844 \cdot 3600 = 303{,}69 \text{ м}^3.$$

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{ж} = V_{ж} \cdot \rho_{ж} = 303{,}69 \cdot 873{,}7 = 265334 \text{ кг}.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{П} = f_{Р} \cdot V_{ж} = 20 \cdot 303{,}69 = 6073{,}8 \text{ м}^2.$$

Площадь пролива ограничивается обвалованием и составляет 3840 м².

Давление насыщенных паров при температуре 38 °С составляет:

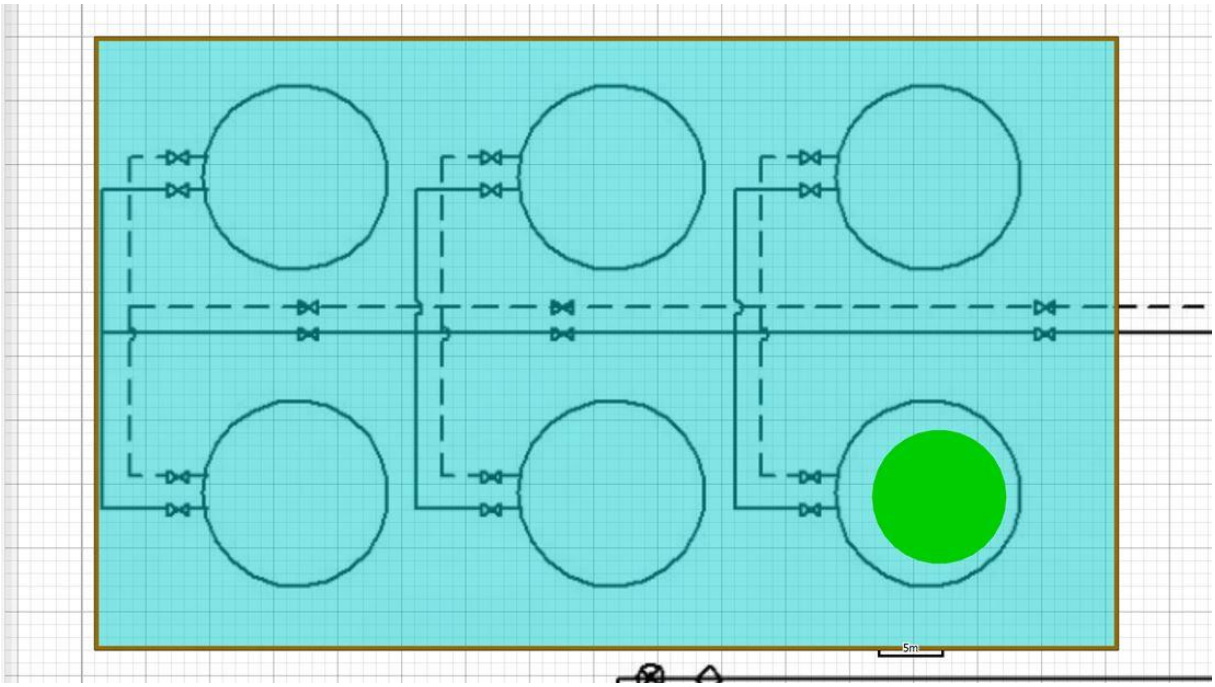
$$P_{Н} = 10^{\left(A - \frac{B}{t+Ca}\right)} = 10^{\left(5{,}61391 - \frac{902{,}275}{38+178{,}099}\right)} = 27{,}455 \text{ кПа}.$$

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{Н} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{78{,}11} \cdot 27{,}455 = 2{,}426 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с·м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{п} = W \cdot F_{П} \cdot 3600 = 2{,}426 \cdot 10^{-4} \cdot 3840 \cdot 3600 = 3354{,}4 \text{ кг}.$$



Разгерметизация 100 мм

6.1.3. Разрушение

Частота возникновения: $5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Объем вылившейся жидкости принимается равным объему емкости: $V_ж = 1000$ м³.

Масса вылившейся жидкости:

$$m_ж = V_ж \cdot \rho_ж = 1000 \cdot 873{,}7 = 873700 \text{ кг}.$$

Имеется обвалование высотой 1 м. При высоте столба жидкости 12 м и $a/h_0 = 0{,}08$ согласно графику рис. П3.3 [3] доля жидкости, перелившейся через обвалование, составит $0{,}55$.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{перелив.}} = V_ж \cdot 0{,}55 \cdot f_Р = 1000 \cdot 0{,}55 \cdot 20 = 10916{,}7 \text{ м}^2.$$

Площадь пролива составляет сумму площади обвалования и площади перелива:

$$F_П = F_{\text{обв.}} + F_{\text{перелив.}} = 3840 + 10916{,}7 = 14756{,}7 \text{ м}^2.$$

Максимальное время испарения до появления источника зажигания: $3600\ c$.

Давление насыщенных паров при температуре 38 °С составляет:

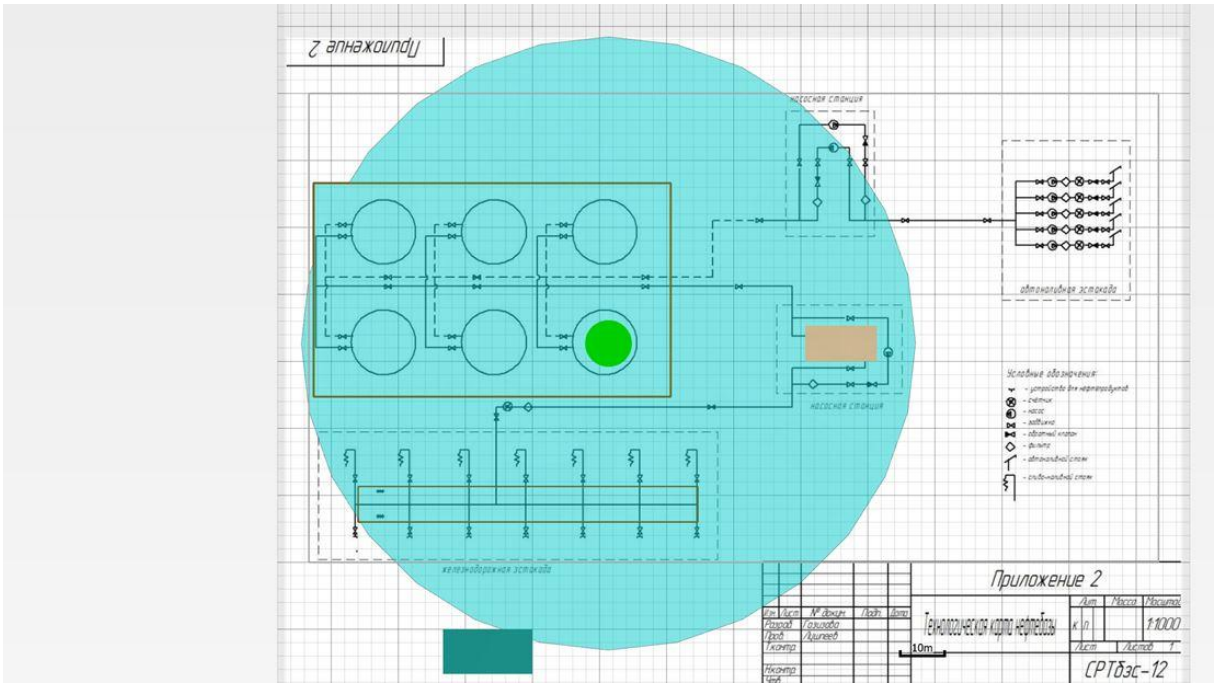
$$P_Н = 10^{\left(A - \frac{B}{t+Ca}\right)} = 10^{\left(5{,}61391 - \frac{902{,}275}{38+178{,}099}\right)} = 27{,}455 \text{ кПа}.$$

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_Н = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{78{,}11} \cdot 27{,}455 = 2{,}426 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с·м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

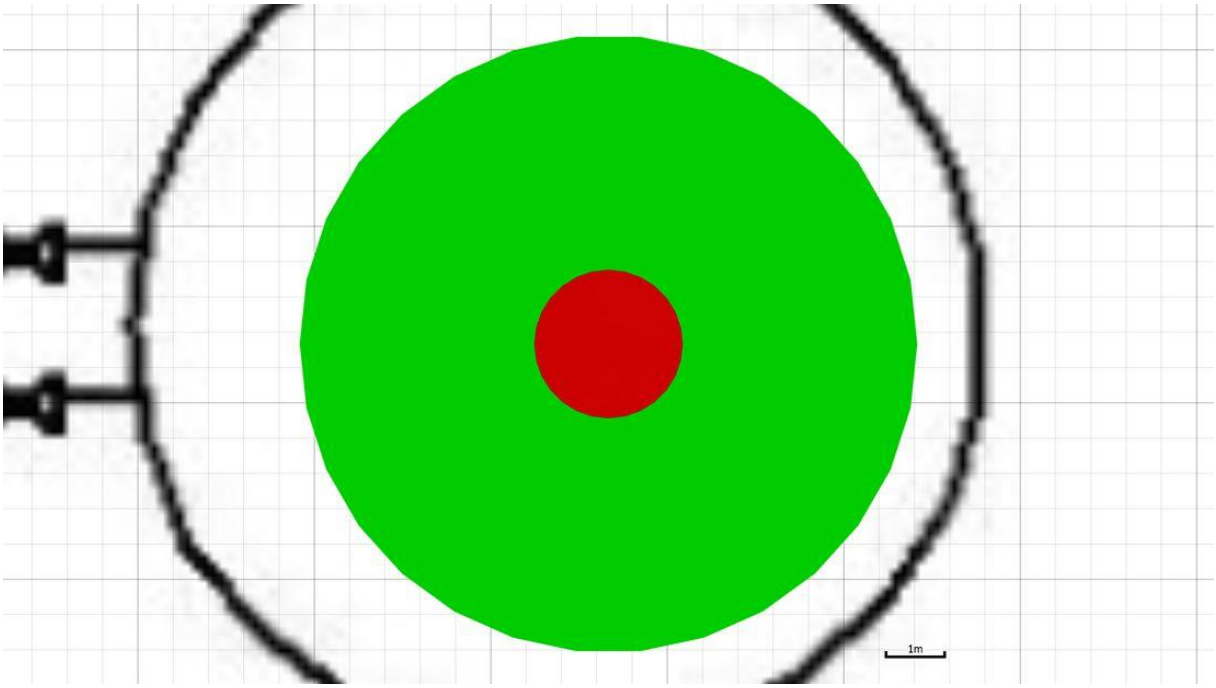
$$m_п = W \cdot F_П \cdot 3600 = 2{,}426 \cdot 10^{-4} \cdot 14756{,}7 \cdot 3600 = 12890{,}5 \text{ кг}.$$



Разрушение

6.1.4. Пожар на дыхательной арматуре

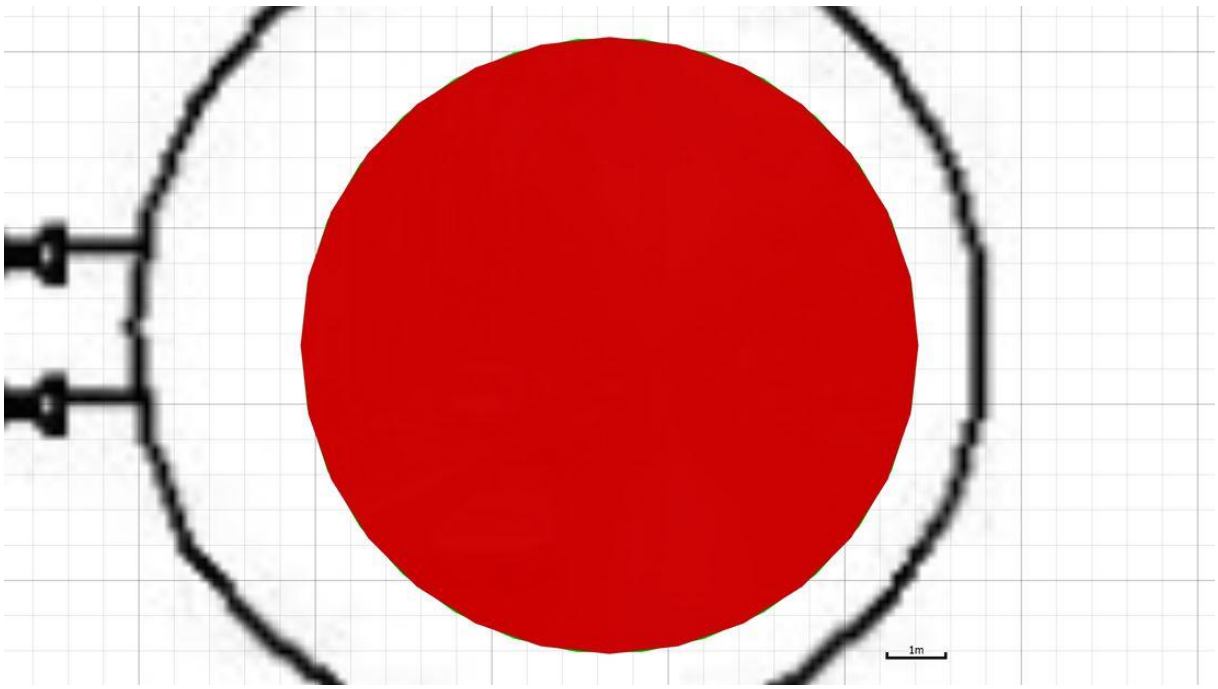
Площадь пожара на дыхательной арматуре принимается равной 5 м².



Площадь пожара

6.1.5. Пожар по поверхности

Площадь пожара принимается равной площади резервуара и составляет 86,6 м².



Площадь пожара

7. Построение полей опасных факторов пожара

Графики теплового потока приведены без учета защиты экранами и стенами зданий.

7.1. PBC_01

7.1.1. Разгерметизация 25 мм

Пожар пролива (сценарий 1, 4)

Сценарий 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0{,}035$.

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

Сценарий 4.

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}965 \cdot 0{,}036 \cdot 0{,}89 = 0{,}0309186.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}0309186 = 2{,}721 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

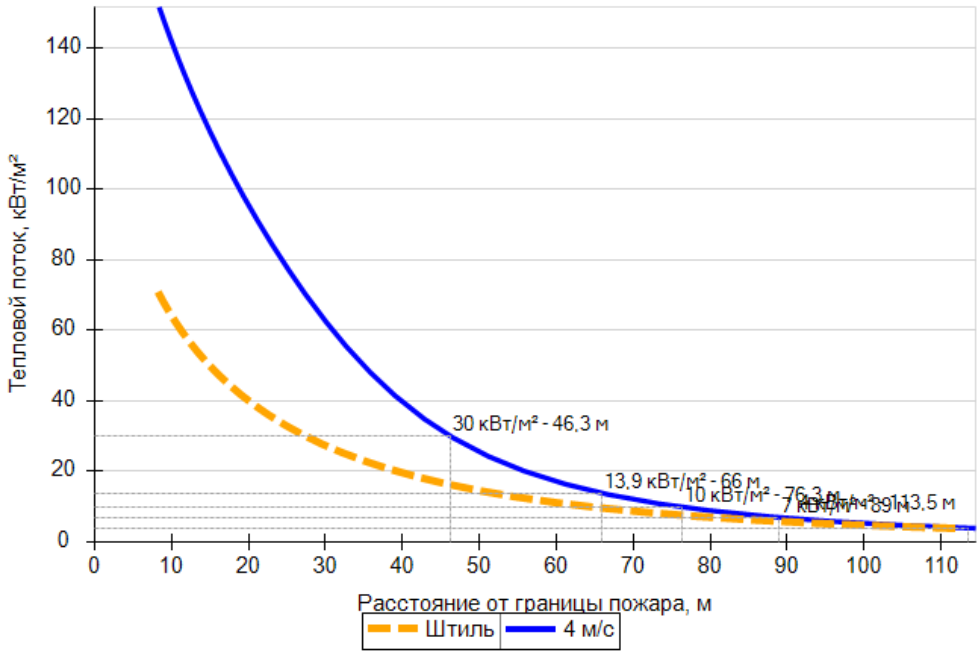
Площадь пожара: $F_{\text{П}} = 379{,}6$ м².

Эффективный диаметр площади пожара:

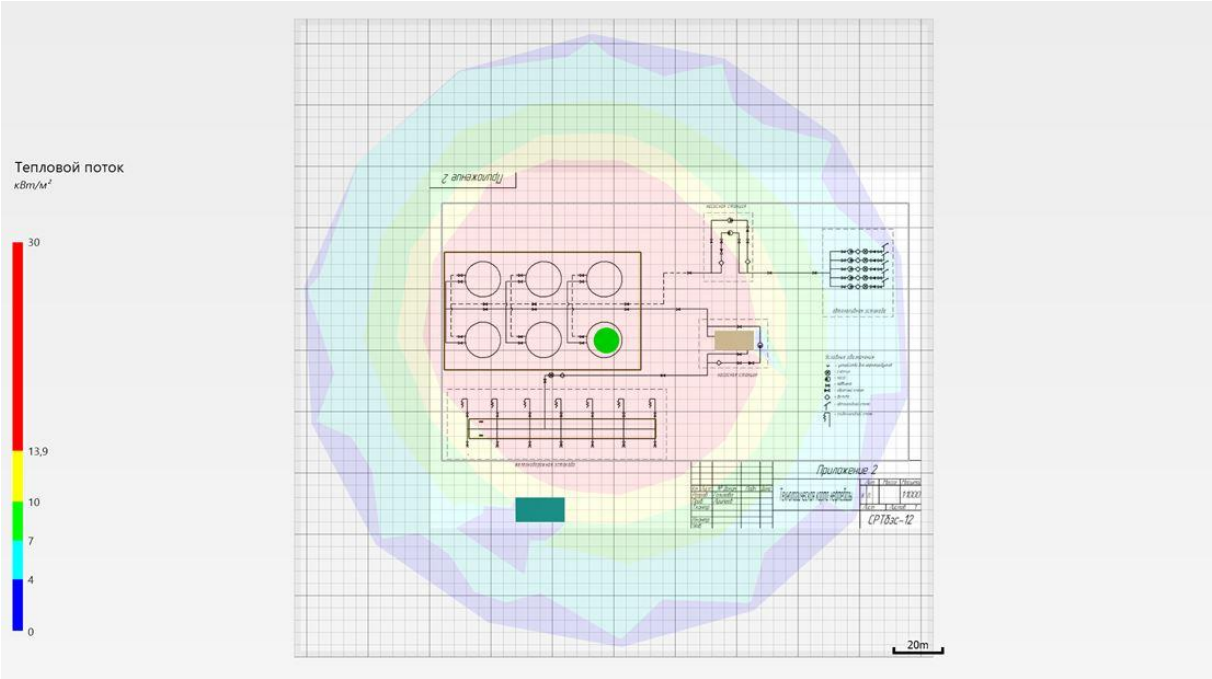
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{П}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 379{,}6}{\pi}} = 22 \text{ м}.$$

Интенсивность теплового излучения от пожара в каждой точке территории объекта определена по формулам (П3.52)...(П3.62) [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и ветре.



Значения теплового потока при штиле и при ветре



Поле величин теплового потока

Взрыв ТВС (сценарий 2)

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}965 \cdot 0{,}036 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}24 = 0{,}00091714.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}00091714 = 8{,}071 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

Бензол по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 4 ([3], табл. П3.1).

Класс загроможденности пространства – III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака – 5.

Удельное энерговыделение:

$$E_{\text{УД}} = E_{\text{УД0}} \cdot \beta = 44 \cdot 1 = 44 \text{ МДж}.$$

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

$$M_{\text{Т}} = m_{\text{п}} \cdot Z = 331{,}6 \cdot 0{,}1 = 33{,}16 \text{ кг}.$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_{\text{Т}} \cdot E_{\text{УД}} = 33{,}16 \cdot 44 = 1459{,}06 \text{ МДж}.$$

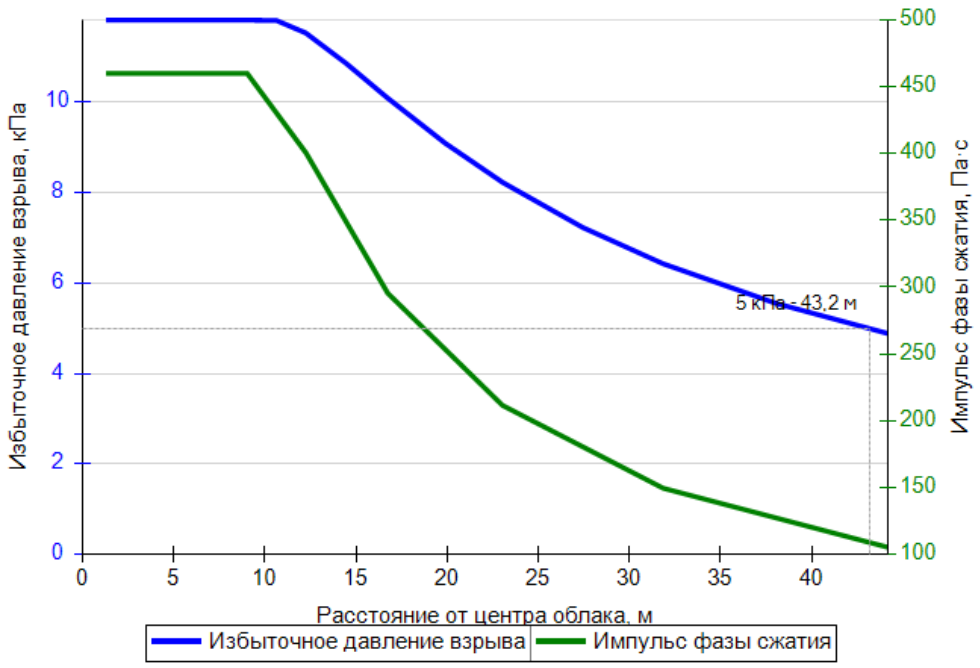
При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается:

$$E = 1459{,}06 \cdot 2 = 2918{,}12 \text{ МДж}.$$

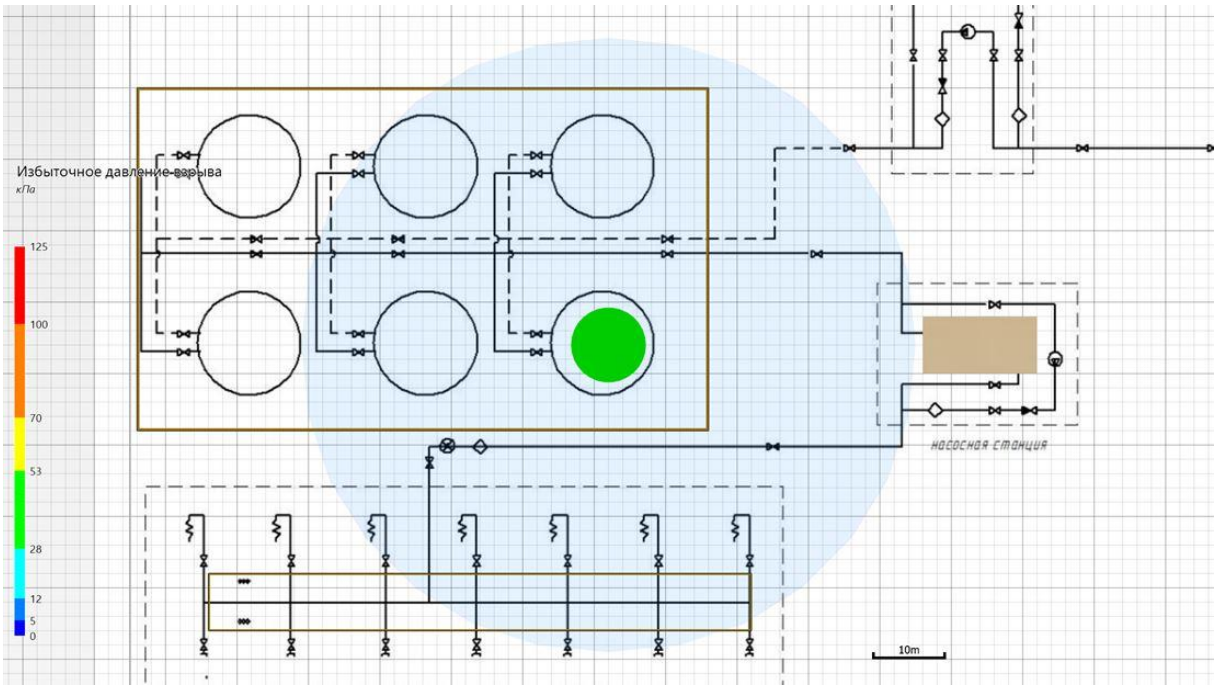
Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 331{,}6^{1/6} = 113{,}1 \text{ м/с}.$$

Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия в каждой точке территории объекта определены по формулам (П3.39)...(П3.46) [3] в зависимости от расстояния от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка (сценарий 3)

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}965 \cdot 0{,}036 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}76 = 0{,}00290426.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}00290426 = 2{,}556 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

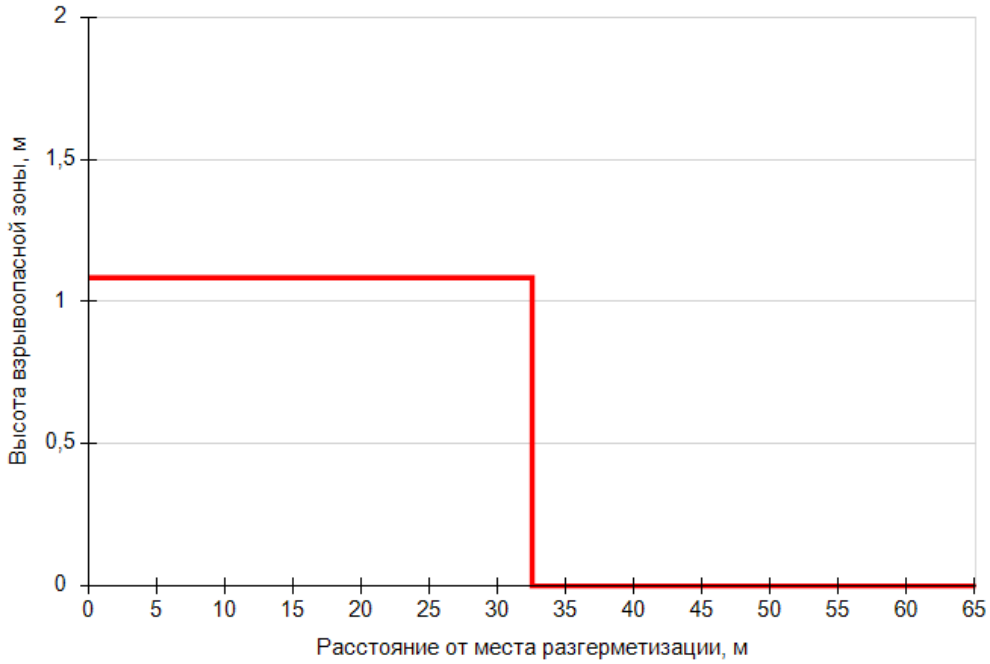
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 38 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 3{,}058$ кг/м³.

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

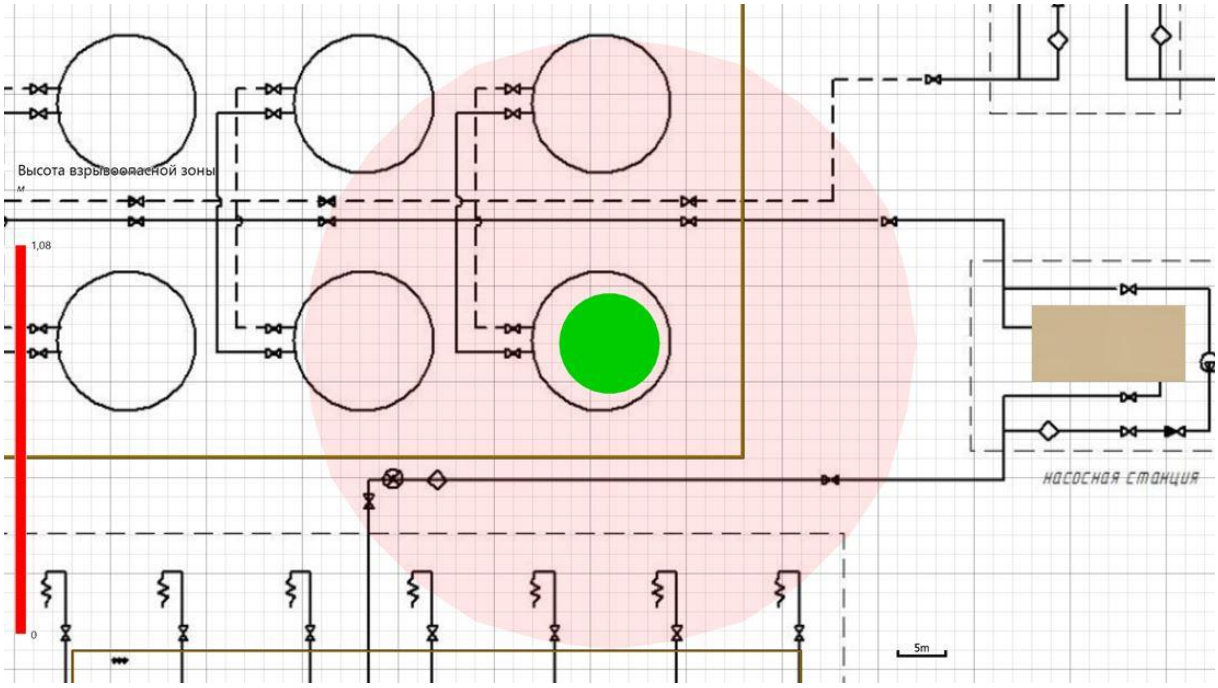
$$R_{\text{НКПР}} = 7{,}8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0{,}33} = 7{,}8 \cdot \left(\frac{331{,}6}{3{,}058 \cdot 1{,}43}\right)^{0{,}33} = 32{,}5 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0{,}26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0{,}33} = 0{,}26 \cdot \left(\frac{331{,}6}{3{,}058 \cdot 1{,}43}\right)^{0{,}33} = 1{,}08 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

7.1.2. Разгерметизация 100 мм

Пожар пролива (сценарий 5, 8)

Сценарий 5.

Условная вероятность возникновения: $P = 0{,}15$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}15 = 1{,}8 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Сценарий 8.

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}85 \cdot 0{,}176 \cdot 0{,}89 = 0{,}133144.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}133144 = 1{,}598 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

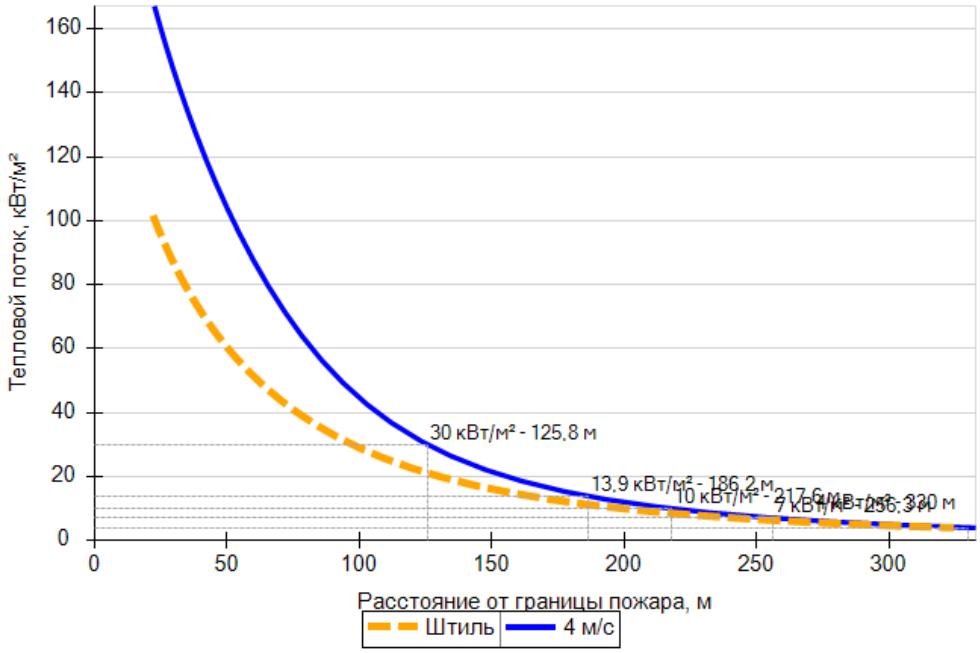
Площадь пожара: $F_{\text{П}} = 3840$ м².

Эффективный диаметр площади пожара:

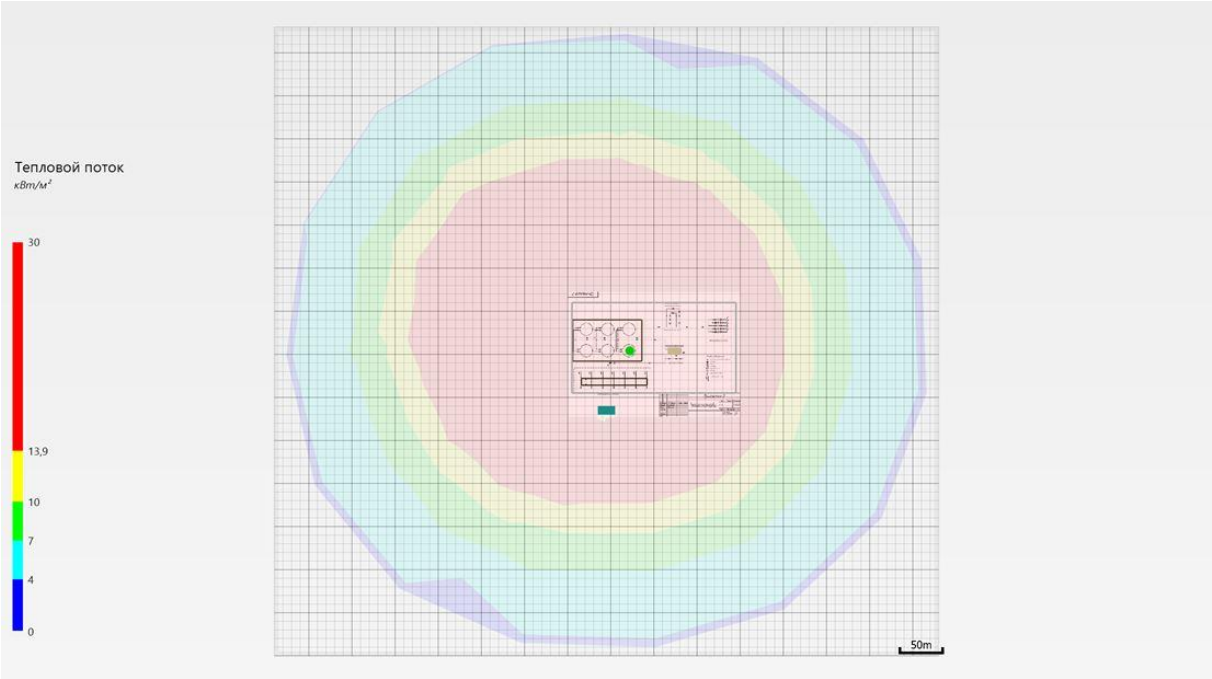
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{П}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3840}{\pi}} = 69{,}9 \text{ м}.$$

Интенсивность теплового излучения от пожара в каждой точке территории объекта определена по формулам (П3.52)...(П3.62) [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и ветре.



Значения теплового потока при штиле и при ветре



Поле величин теплового потока

Взрыв ТВС (сценарий 6)

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}85 \cdot 0{,}176 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}6 = 0{,}0098736.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}0098736 = 1{,}185 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

Бензол по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 4 ([3], табл. П3.1).

Класс загроможденности пространства – III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака – 5.

Удельное энерговыделение:

$$E_{\text{УД}} = E_{\text{УД0}} \cdot \beta = 44 \cdot 1 = 44 \text{ МДж}.$$

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

$$M_{\text{Т}} = m_{\text{п}} \cdot Z = 3354{,}4 \cdot 0{,}1 = 335{,}438 \text{ кг}.$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_{\text{Т}} \cdot E_{\text{УД}} = 335{,}438 \cdot 44 = 14759{,}25 \text{ МДж}.$$

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

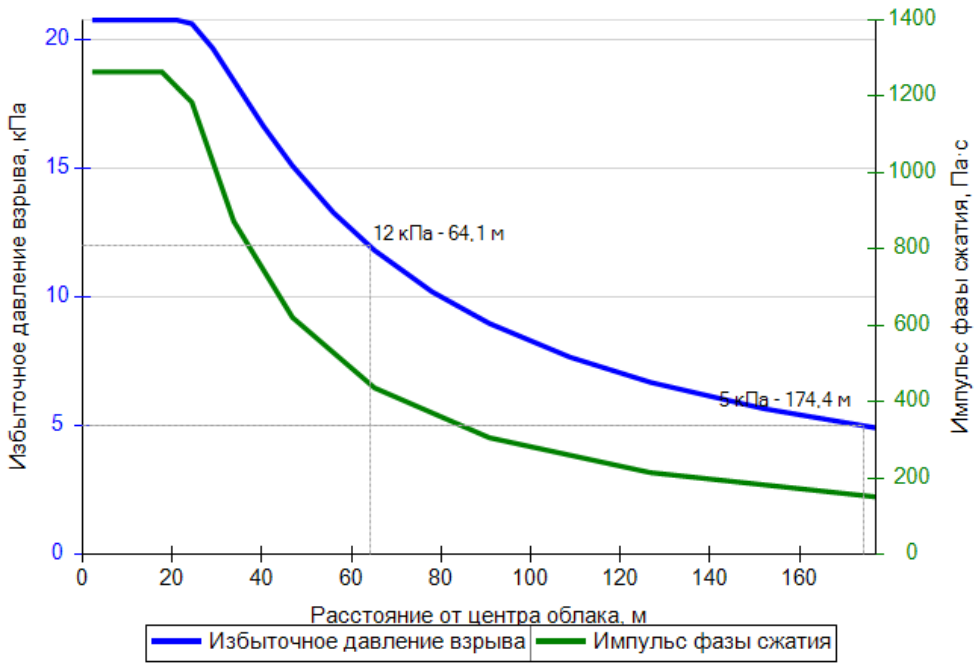
$$E = 14759{,}25 \cdot 2 = 29518{,}5 \text{ МДж}.$$

Видимая скорость фронта пламени:

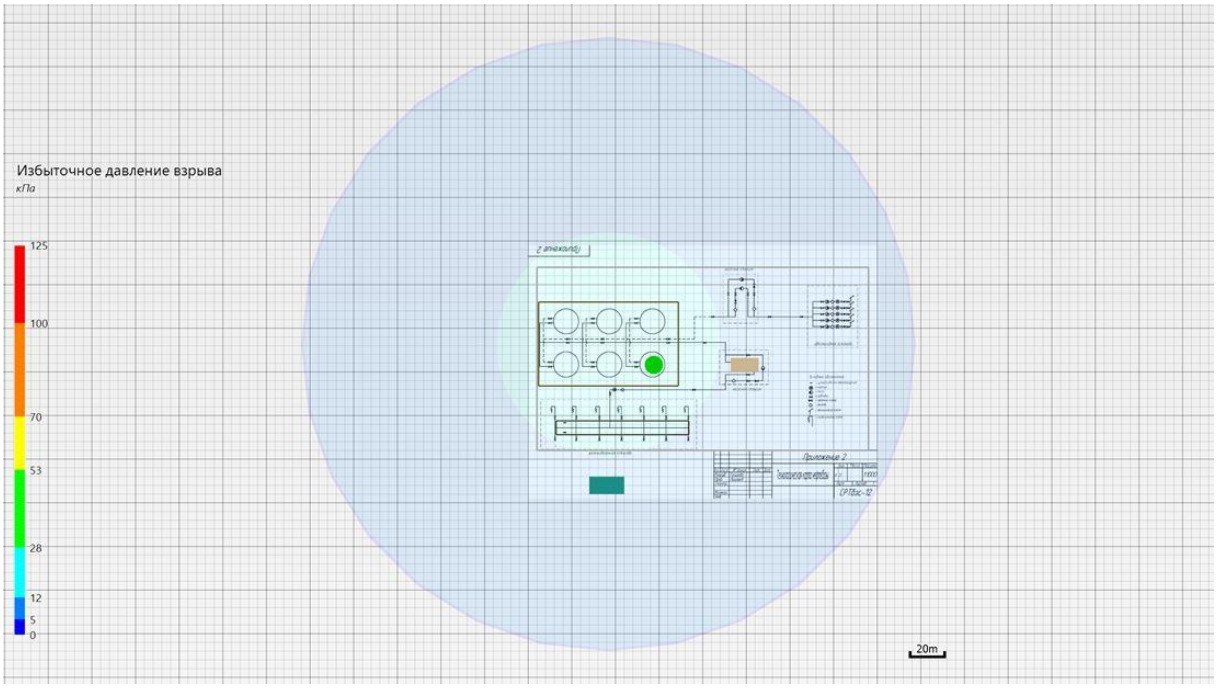
$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 3354{,}4^{1/6} = 166{,}4 \text{ м/с}.$$

Скорость фронта пламени для классов 5 или 6 не должна превышать значения нижней границы диапазона скорости фронта пламени класса 4, поэтому принимается равной $u = 150$ м/с.

Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия в каждой точке территории объекта определены по формулам (П3.39)...(П3.46) [3] в зависимости от расстояния от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка (сценарий 7)

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}85 \cdot 0{,}176 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}4 = 0{,}0065824.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}0065824 = 7{,}899 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

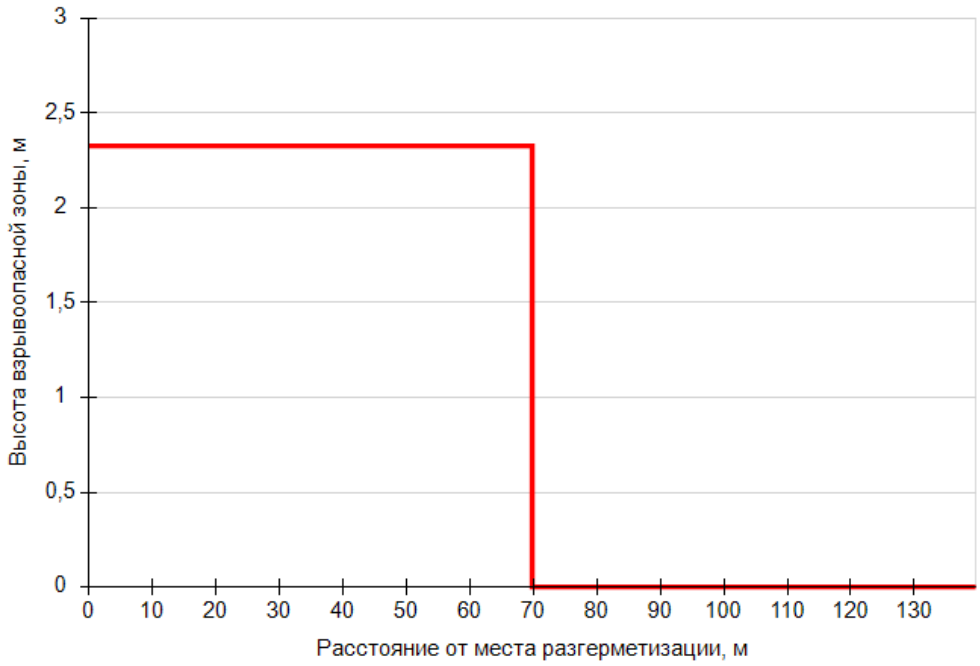
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 38 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 3{,}058$ кг/м³.

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

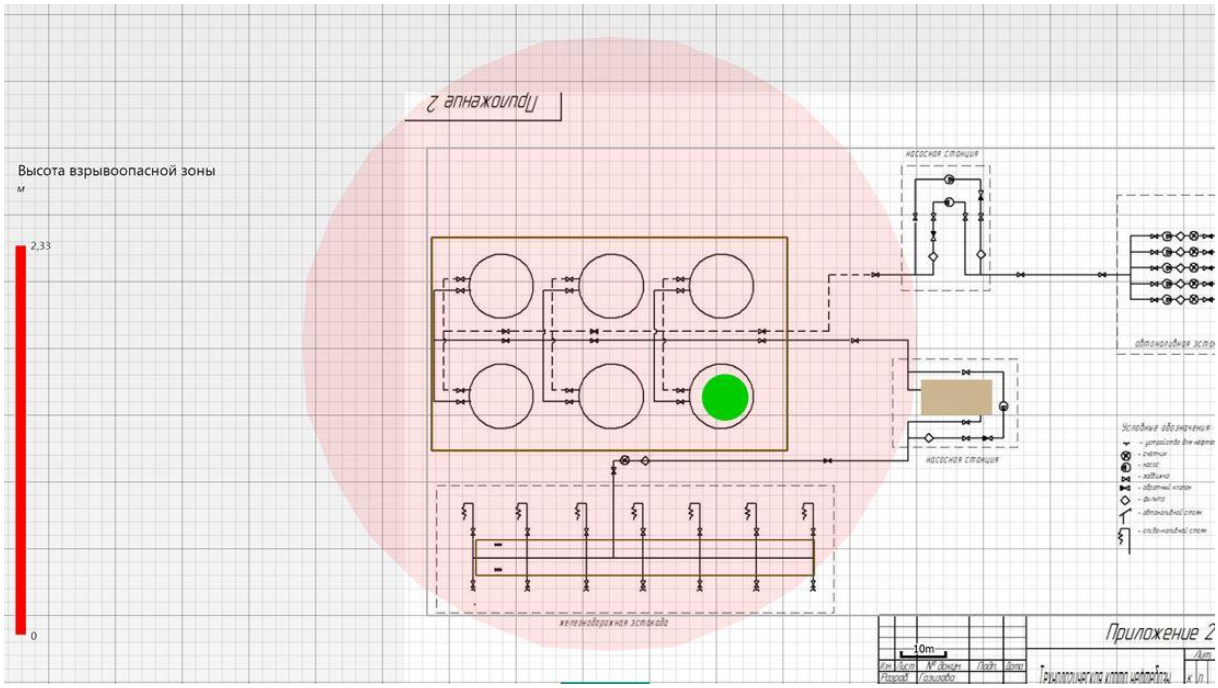
$$R_{\text{НКПР}} = 7{,}8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0{,}33} = 7{,}8 \cdot \left(\frac{3354{,}4}{3{,}058 \cdot 1{,}43}\right)^{0{,}33} = 69{,}8 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0{,}26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0{,}33} = 0{,}26 \cdot \left(\frac{3354{,}4}{3{,}058 \cdot 1{,}43}\right)^{0{,}33} = 2{,}33 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

7.1.3. Разрушение

Пожар пролива (сценарий 9, 12)

Сценарий 9.

Условная вероятность возникновения: $P = 0{,}2$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}2 = 1 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Сценарий 12.

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}8 \cdot 0{,}24 \cdot 0{,}89 = 0{,}17088.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}17088 = 8{,}544 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

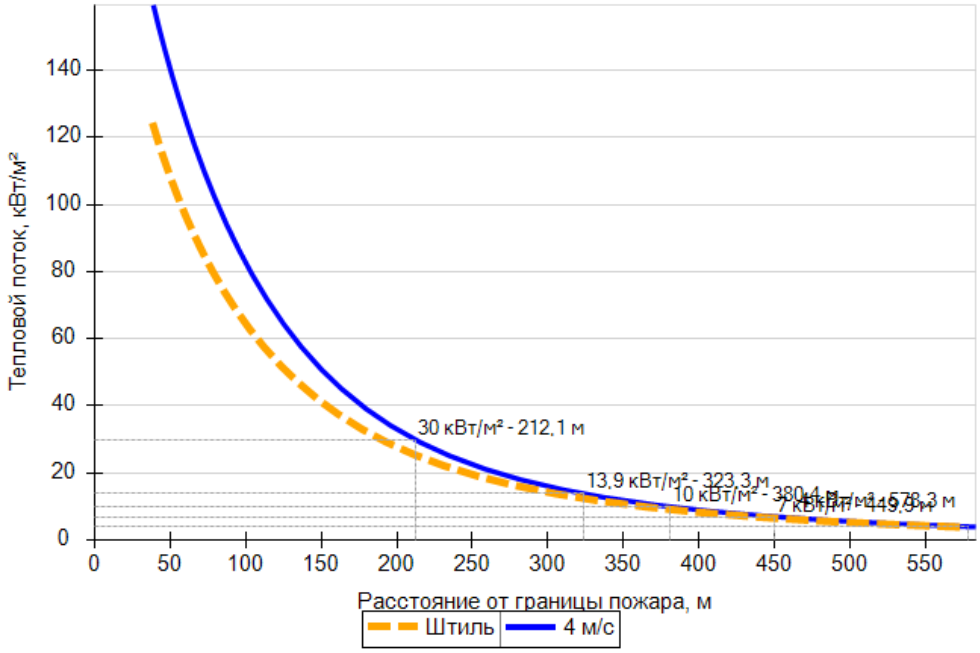
Площадь пожара: $F_{\text{П}} = 14756{,}7$ м².

Эффективный диаметр площади пожара:

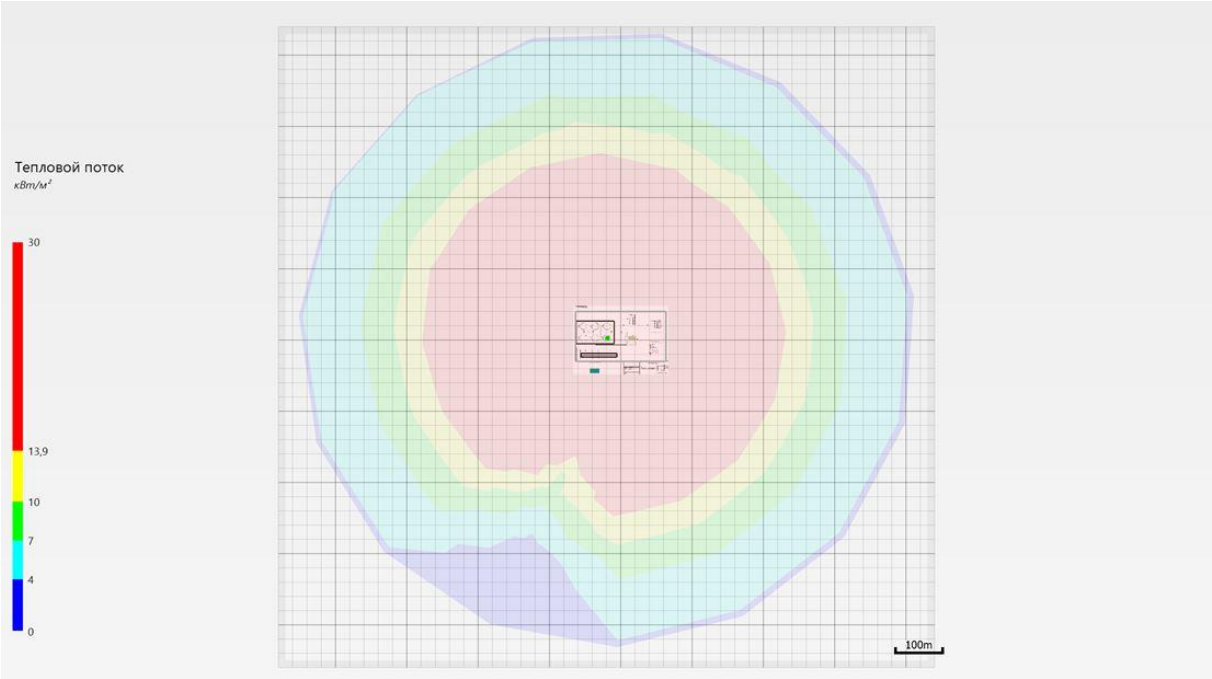
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{П}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14756{,}7}{\pi}} = 137{,}1 \text{ м}.$$

Интенсивность теплового излучения от пожара в каждой точке территории объекта определена по формулам (П3.52)...(П3.62) [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и ветре.



Значения теплового потока при штиле и при ветре



Поле величин теплового потока

Взрыв ТВС (сценарий 10)

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}8 \cdot 0{,}24 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}6 = 0{,}012672.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}012672 = 6{,}336 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

Бензол по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 4 ([3], табл. П3.1).

Класс загроможденности пространства – III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака – 5.

Удельное энерговыделение:

$$E_{\text{УД}} = E_{\text{УД0}} \cdot \beta = 44 \cdot 1 = 44 \text{ МДж}.$$

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

$$M_{\text{Т}} = m_{\text{п}} \cdot Z = 12890{,}5 \cdot 0{,}1 = 1289{,}047 \text{ кг}.$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_{\text{Т}} \cdot E_{\text{УД}} = 1289{,}047 \cdot 44 = 56718{,}06 \text{ МДж}.$$

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

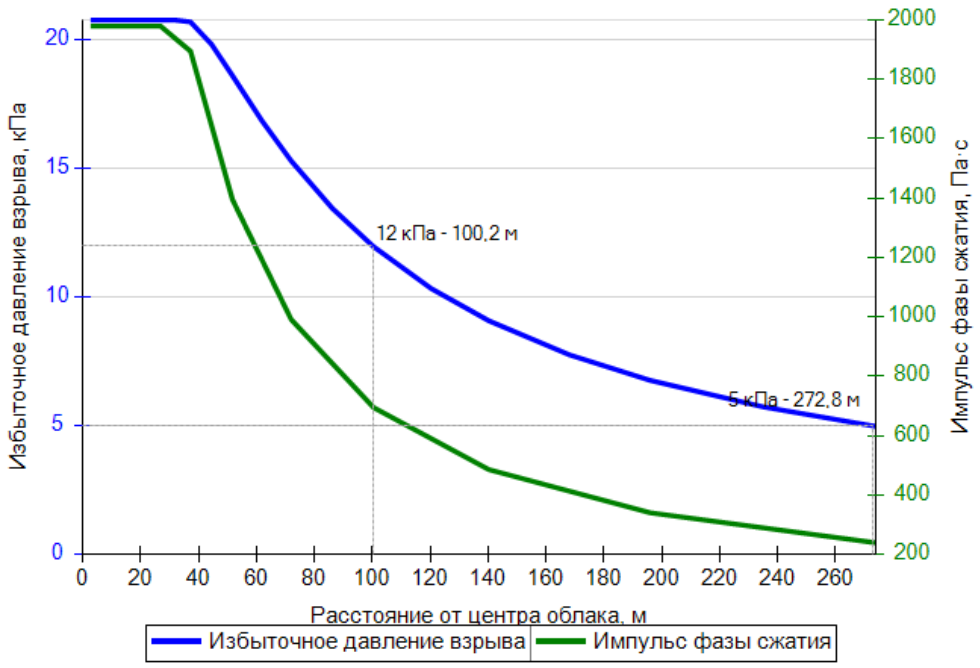
$$E = 56718{,}06 \cdot 2 = 113436{,}12 \text{ МДж}.$$

Видимая скорость фронта пламени:

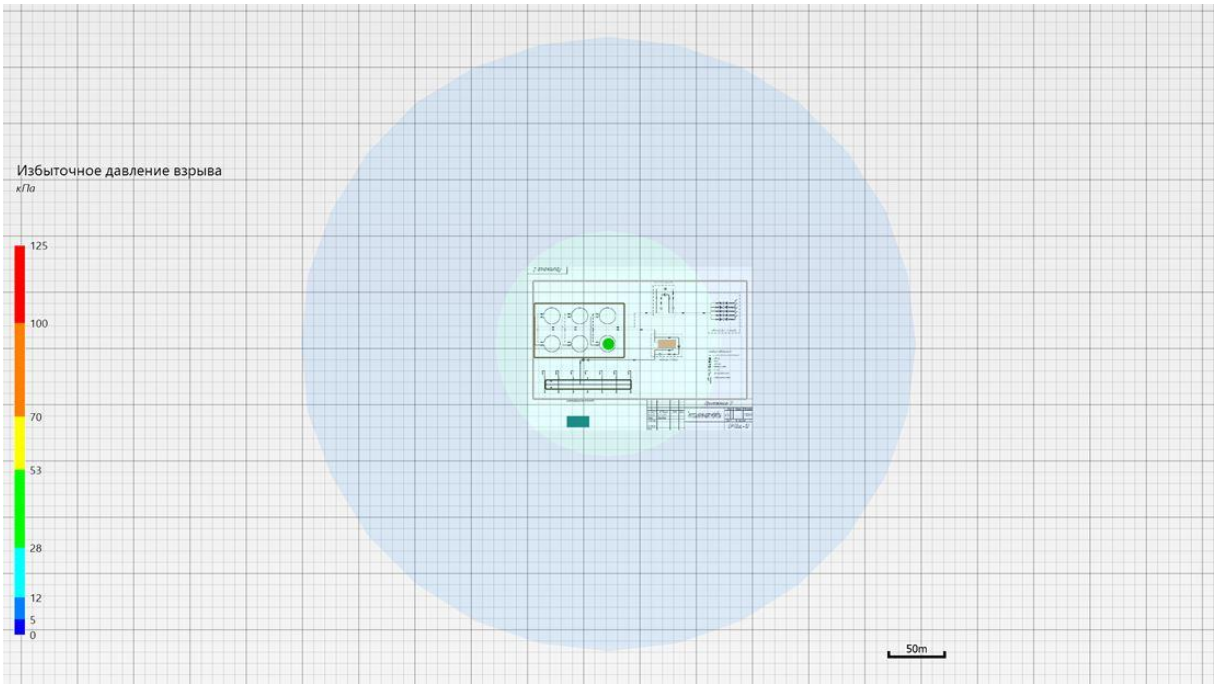
$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 12890{,}5^{1/6} = 208{,}2 \text{ м/с}.$$

Скорость фронта пламени для классов 5 или 6 не должна превышать значения нижней границы диапазона скорости фронта пламени класса 4, поэтому принимается равной $u = 150$ м/с.

Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия в каждой точке территории объекта определены по формулам (П3.39)...(П3.46) [3] в зависимости от расстояния от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка (сценарий 11)

Условная вероятность возникновения:

$$P = 0{,}8 \cdot 0{,}24 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}4 = 0{,}008448.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}008448 = 4{,}224 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

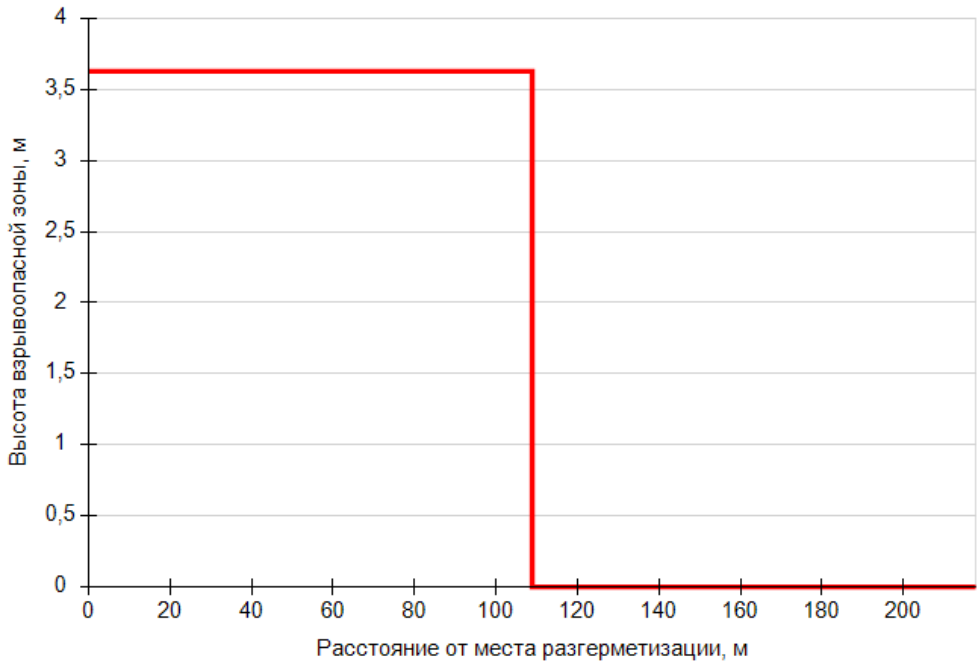
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 38 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 3{,}058$ кг/м³.

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

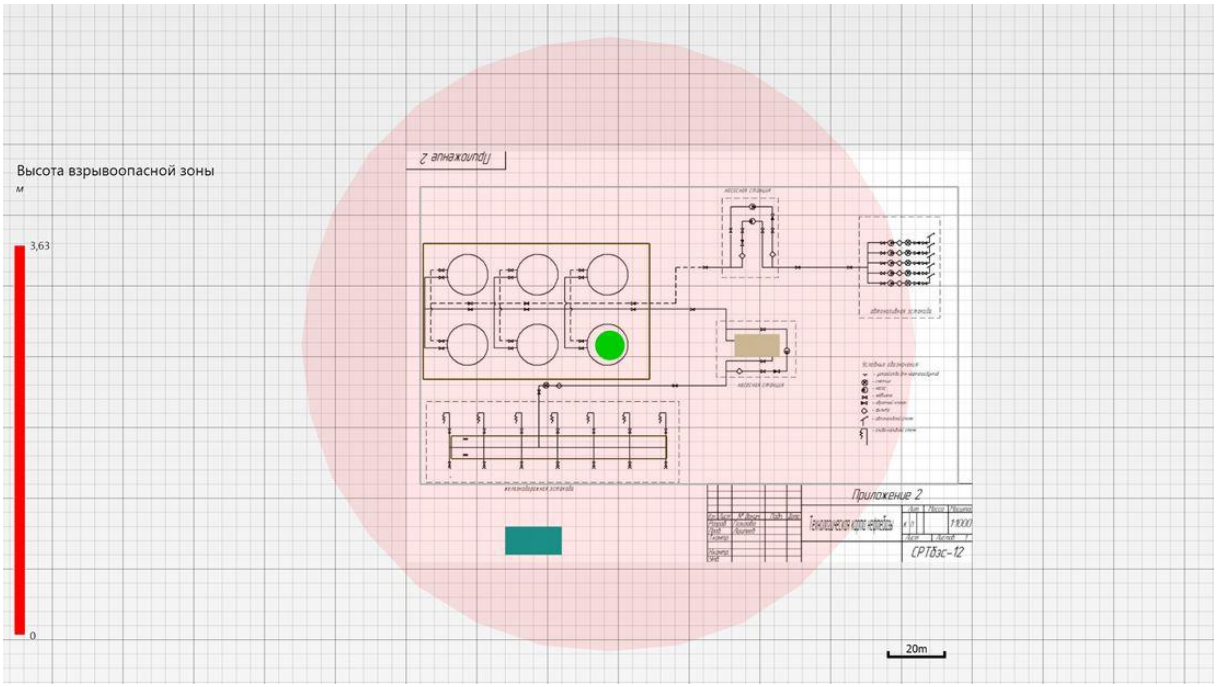
$$R_{\text{НКПР}} = 7{,}8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0{,}33} = 7{,}8 \cdot \left(\frac{12890{,}5}{3{,}058 \cdot 1{,}43}\right)^{0{,}33} = 108{,}9 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0{,}26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0{,}33} = 0{,}26 \cdot \left(\frac{12890{,}5}{3{,}058 \cdot 1{,}43}\right)^{0{,}33} = 3{,}63 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

7.1.4. Пожар на дыхательной арматуре

Пожар на дыхательной арматуре (сценарий 13)

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 9 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$.

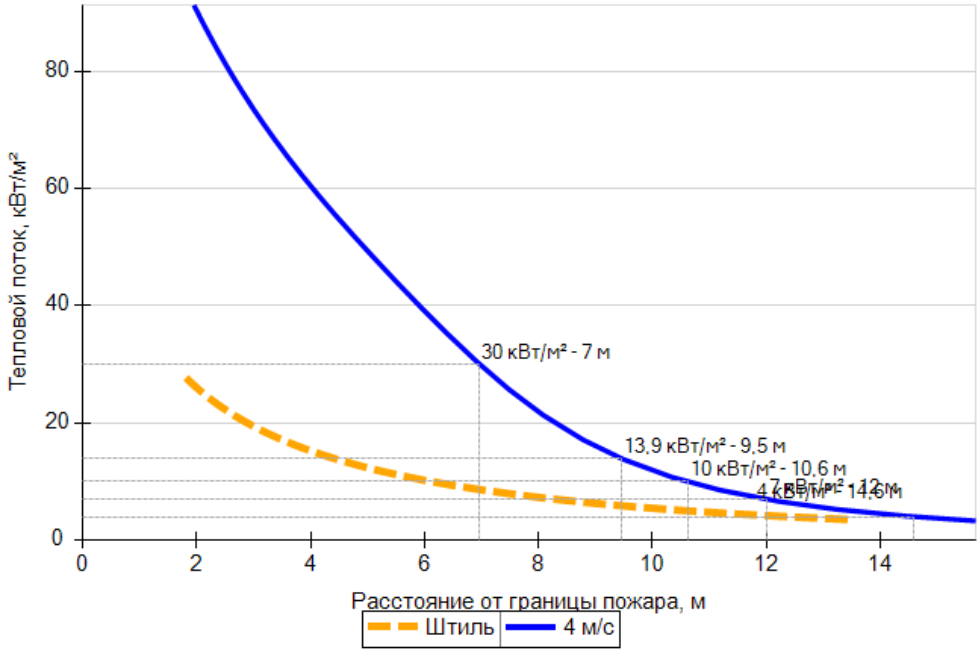
Площадь пожара: $F_{\text{П}} = 5$ м².

Эффективный диаметр площади пожара:

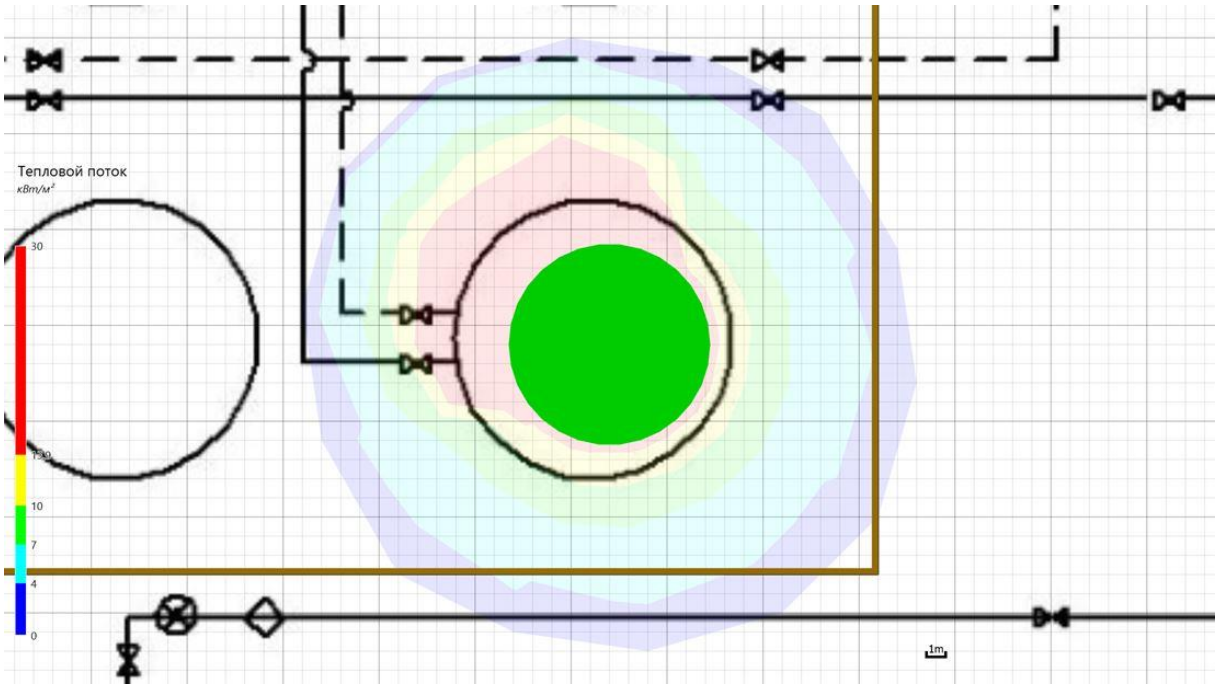
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{П}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5}{\pi}} = 2{,}5 \text{ м}.$$

Интенсивность теплового излучения от пожара в каждой точке территории объекта определена по формулам (П3.52)...(П3.62) [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и ветре.



Значения теплового потока при штиле и при ветре



Поле величин теплового потока

7.1.5. Пожар по поверхности

Пожар по поверхности (сценарий 14)

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 9 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$.

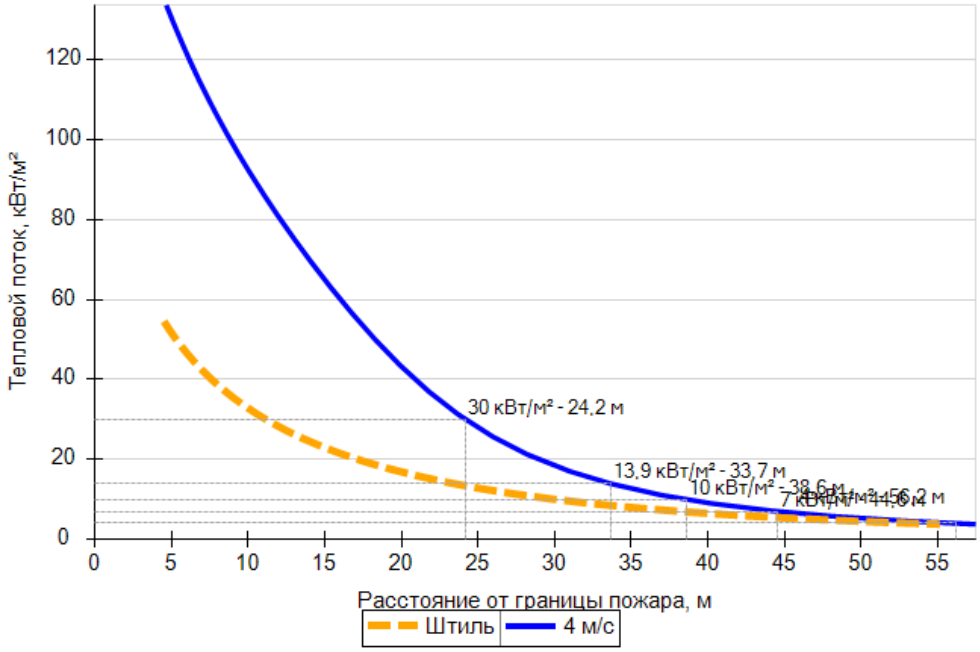
Площадь пожара: $F_{\text{П}} = 86{,}6$ м².

Эффективный диаметр площади пожара:

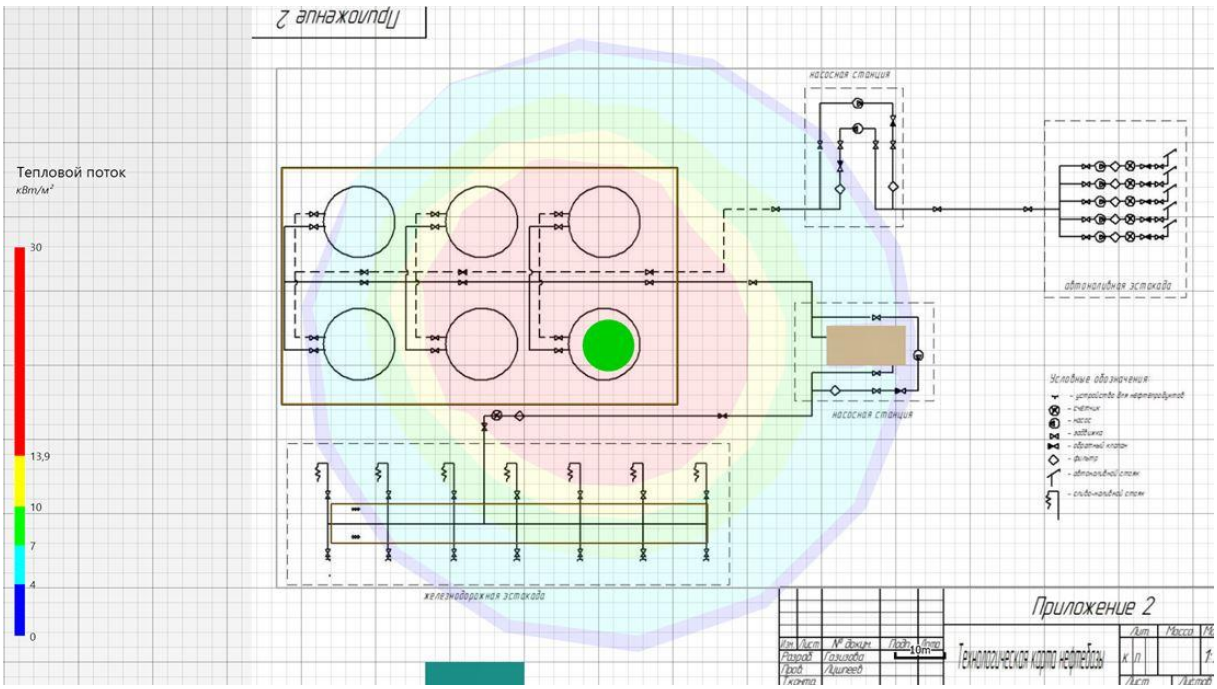
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{П}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 86{,}6}{\pi}} = 10{,}5 \text{ м}.$$

Интенсивность теплового излучения от пожара в каждой точке территории объекта определена по формулам (П3.52)...(П3.62) [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости теплового потока от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и ветре.



Значения теплового потока при штиле и при ветре



Поле величин теплового потока

8. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей

Условная вероятность поражения от теплового потока приведена без учета защиты экранами и стенами зданий.

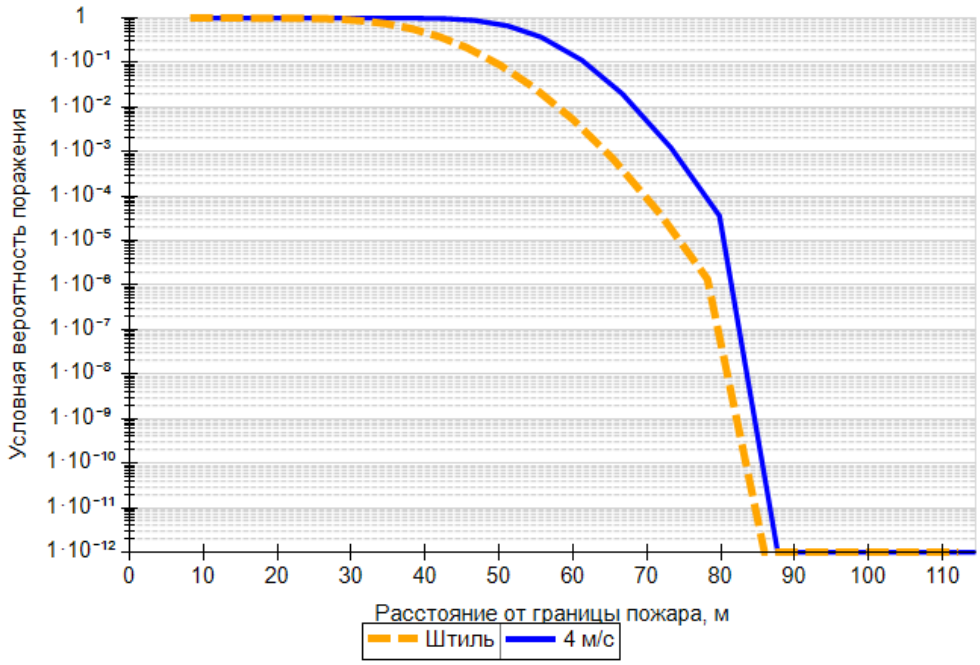
8.1. PBC_01

8.1.1. Разгерметизация 25 мм

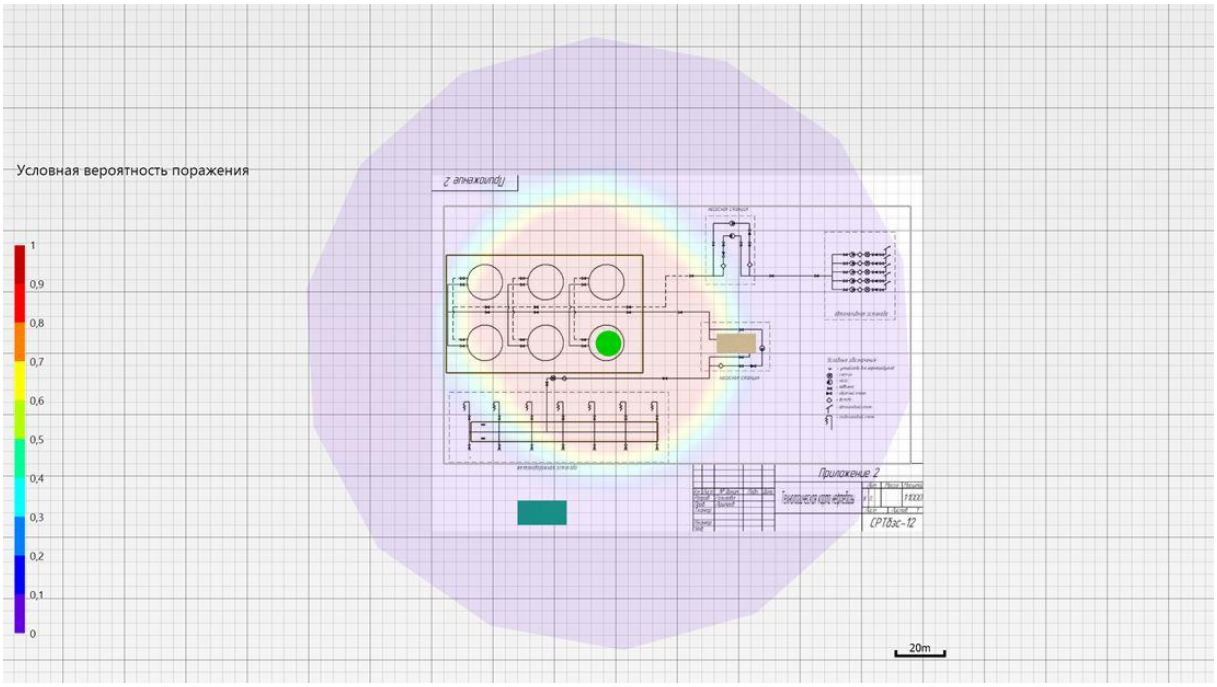
Пожар пролива

Вероятность поражения человека тепловым излучением от пожара в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом II приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и при ветре.



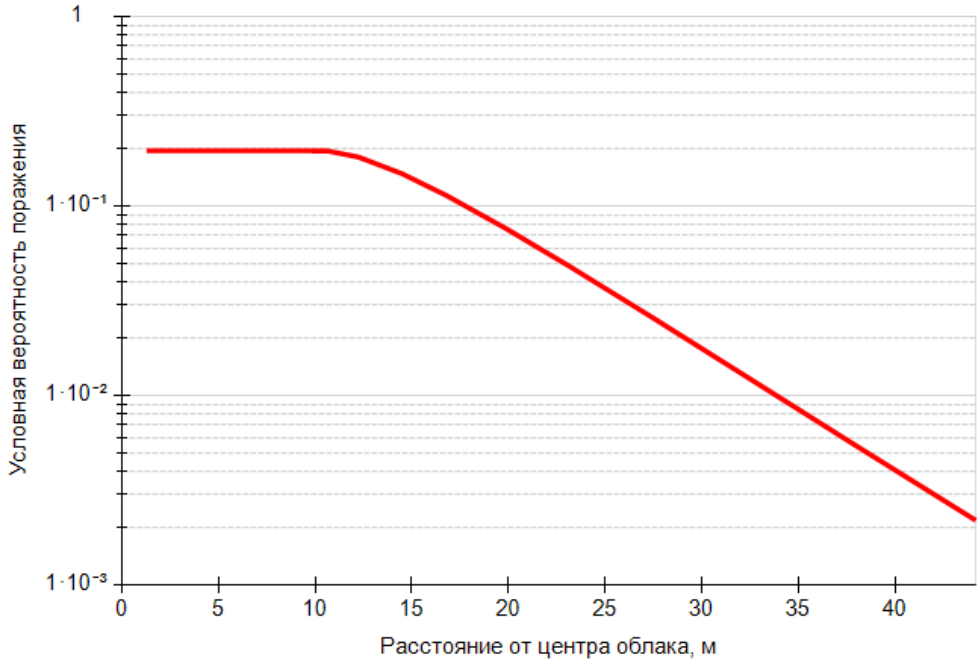
Значения условной вероятности поражения при штиле и при ветре



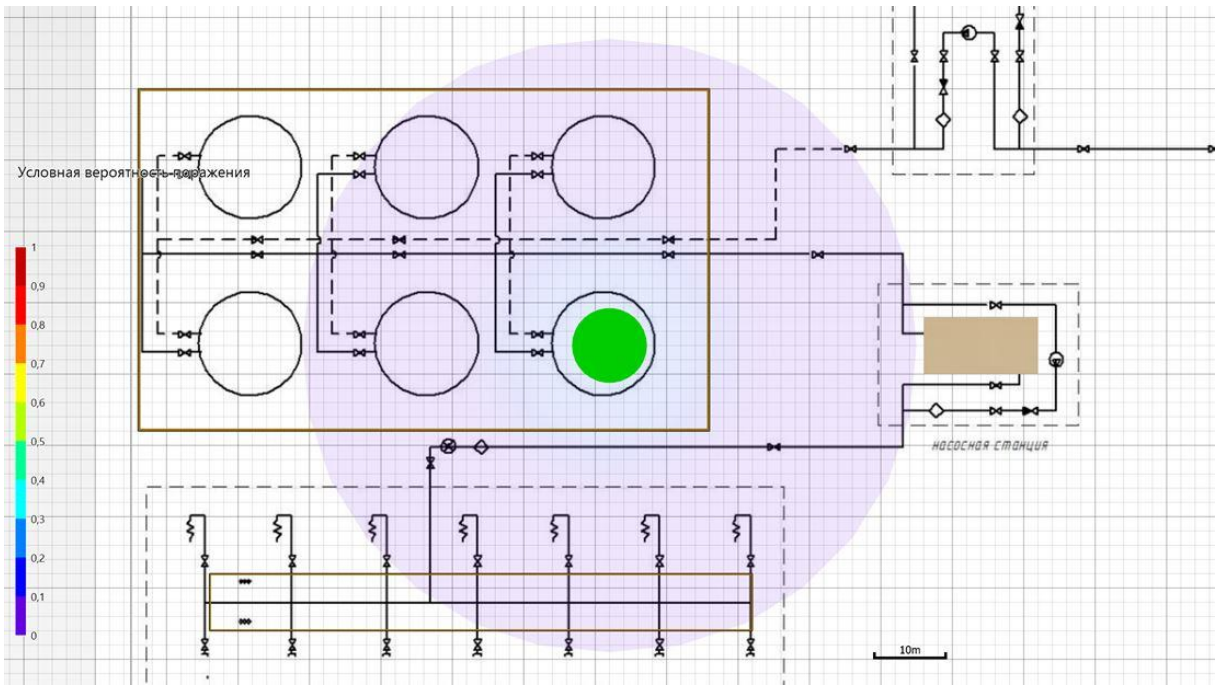
Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

Взрыв ТВС

Вероятность поражения человека волной давления при взрыве в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом I приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от центра облака.



Условная вероятность поражения человека волной давления



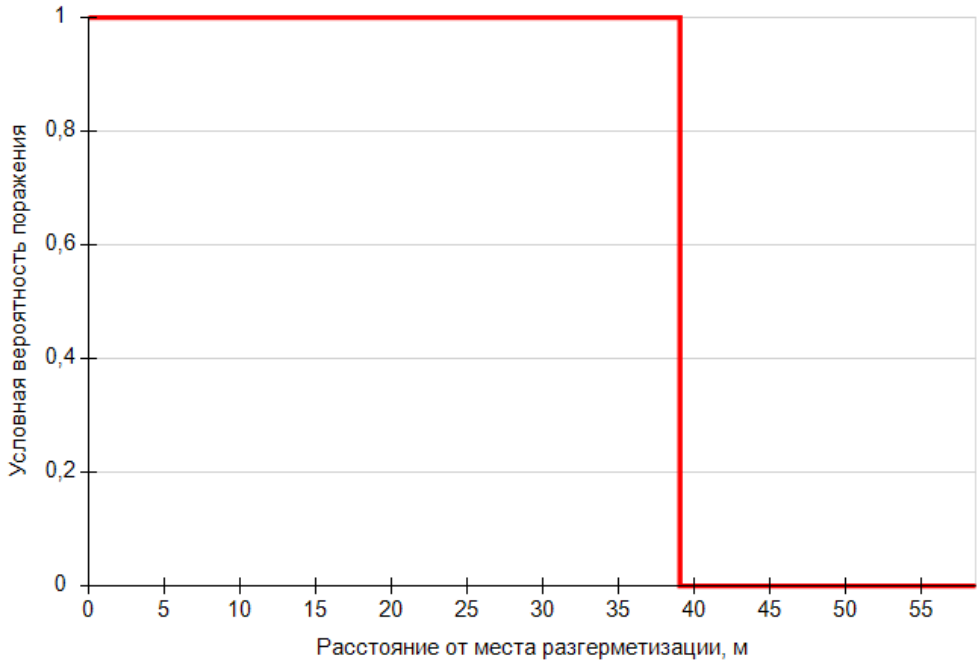
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

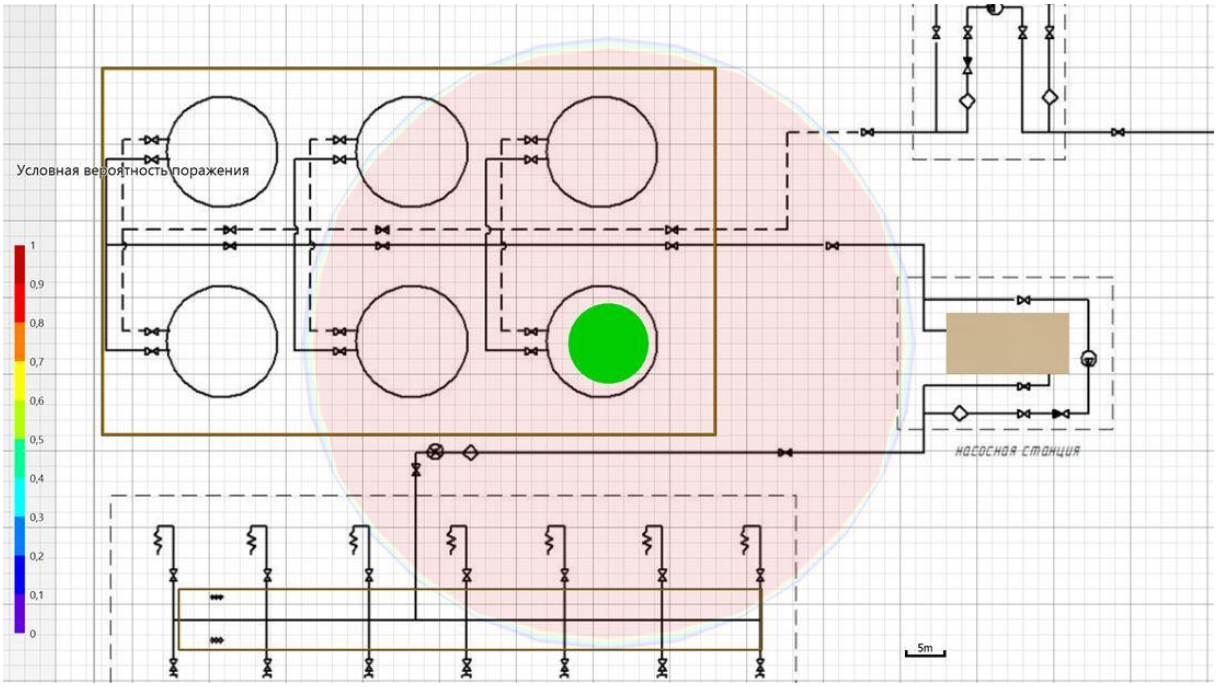
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газопаровоздушного облака при пожаре-вспышке составляет:

$$R_F = 1{,}2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1{,}2 \cdot 32{,}5 \text{ м} = 39 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



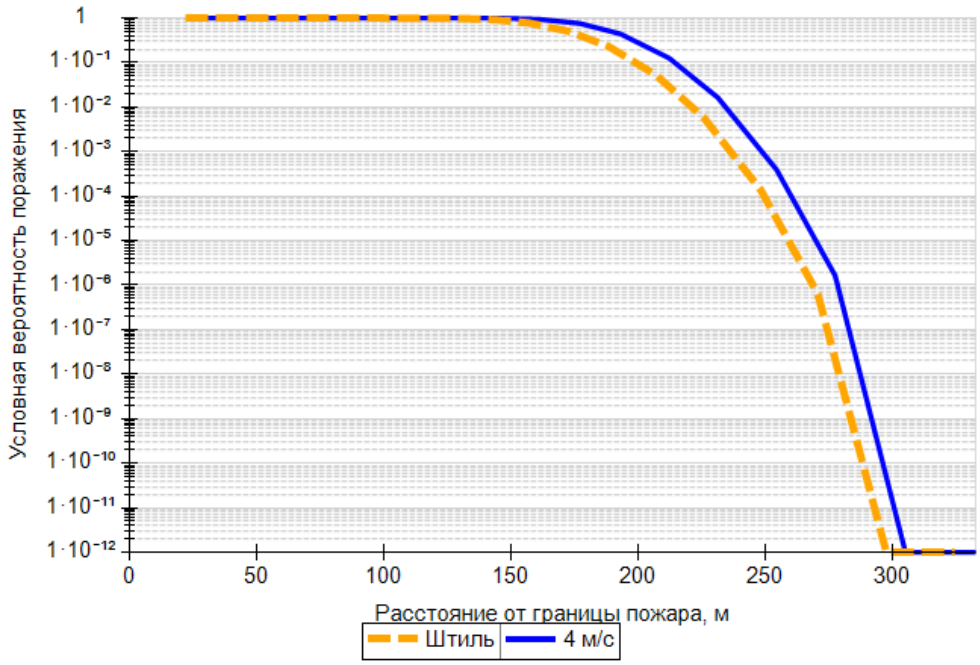
Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

8.1.2. Разгерметизация 100 мм

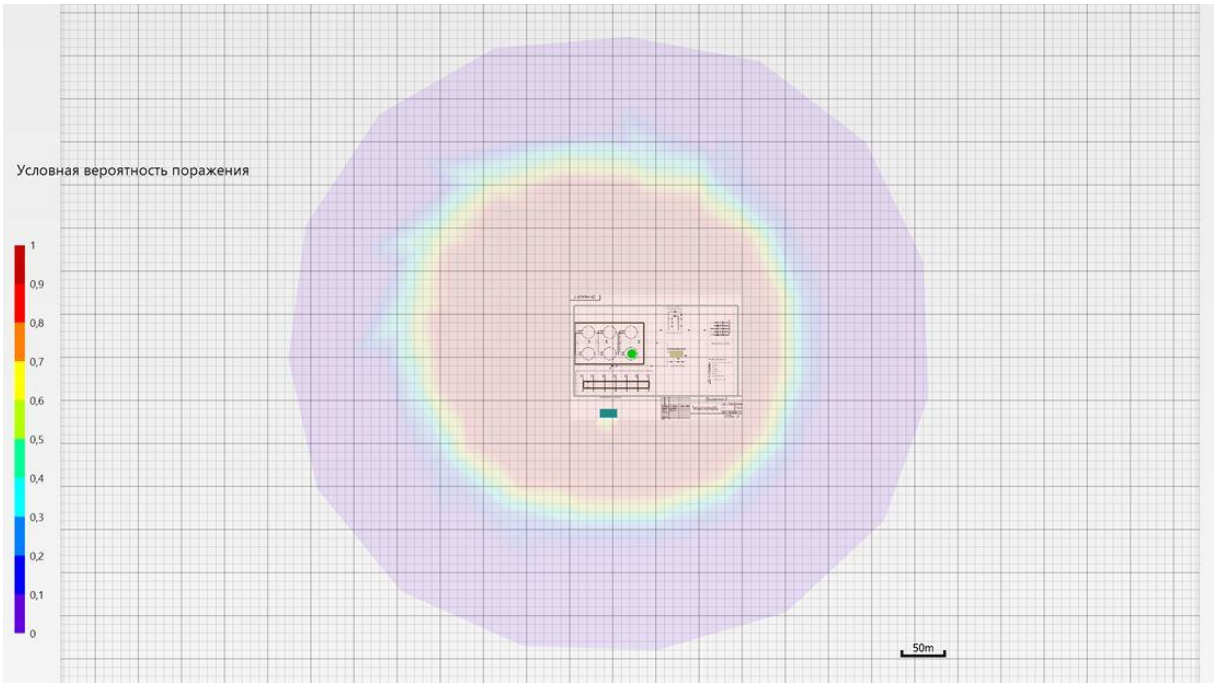
Пожар пролива

Вероятность поражения человека тепловым излучением от пожара в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом II приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и при ветре.



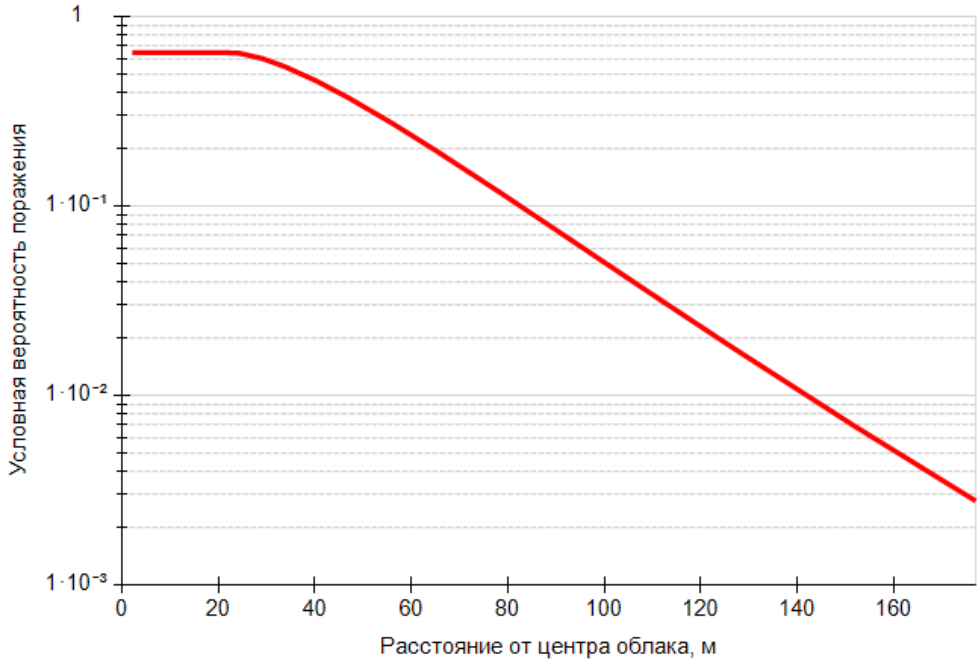
Значения условной вероятности поражения при штиле и при ветре



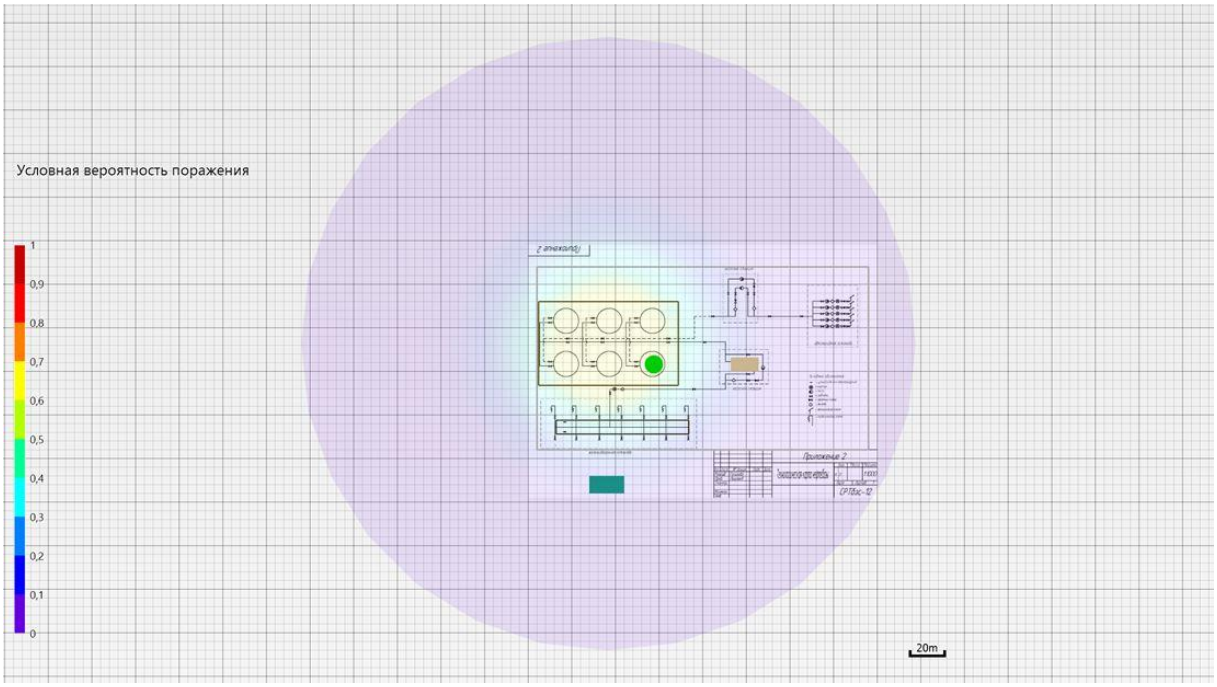
Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

Взрыв ТВС

Вероятность поражения человека волной давления при взрыве в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом I приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от центра облака.



Условная вероятность поражения человека волной давления



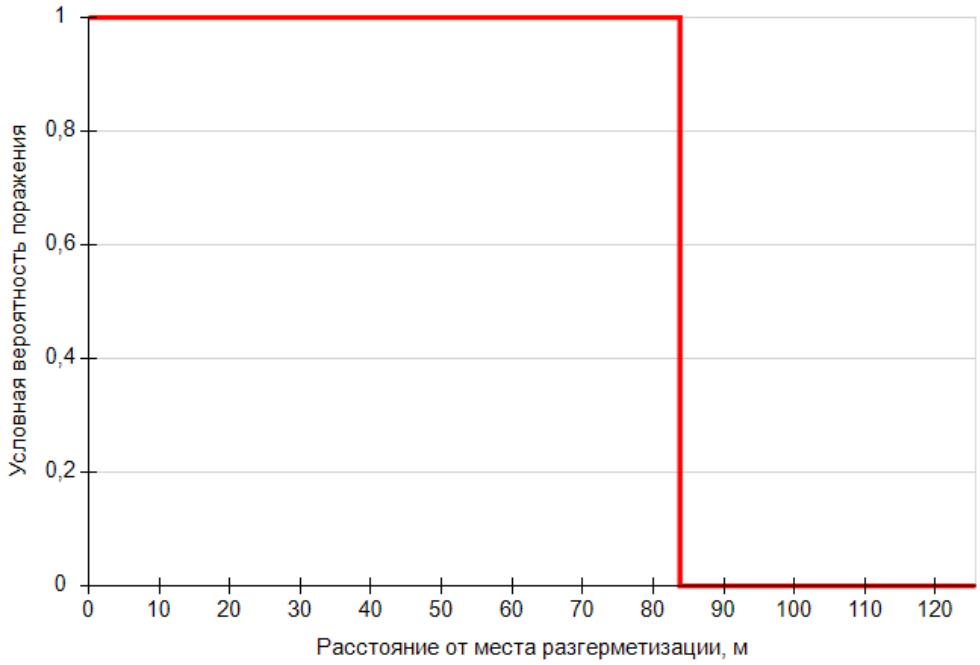
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

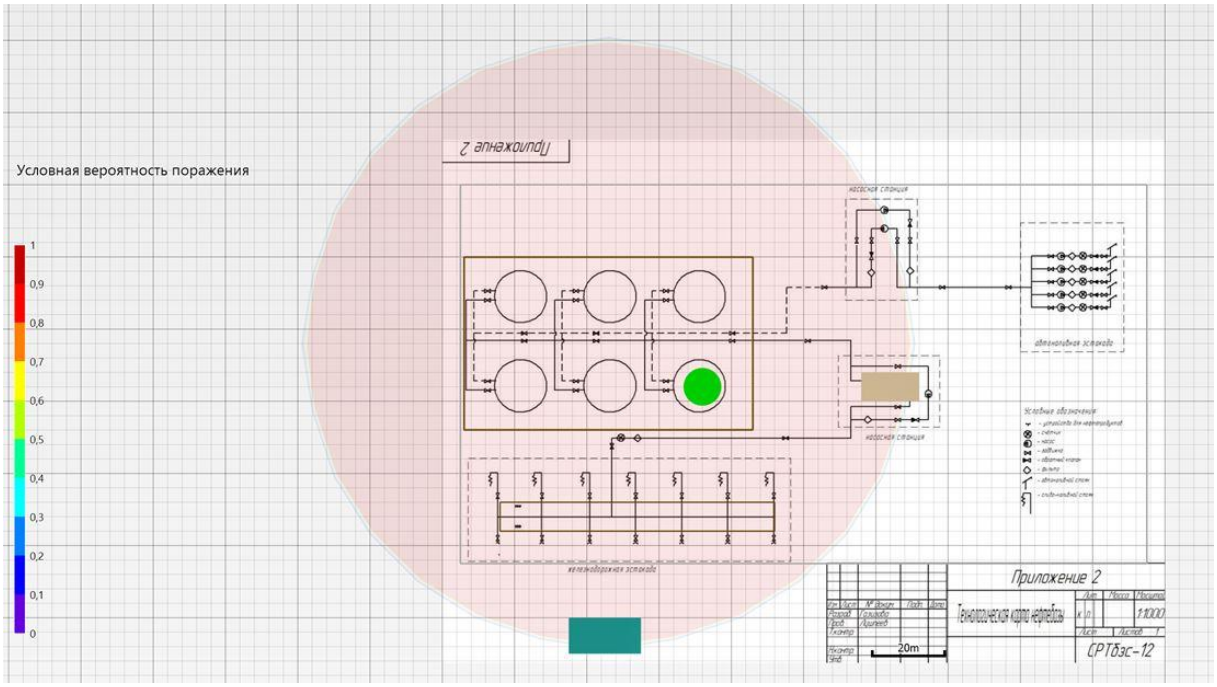
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газопаровоздушного облака при пожаре-вспышке составляет:

$$R_F = 1{,}2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1{,}2 \cdot 69{,}8 \text{ м} = 83{,}8 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



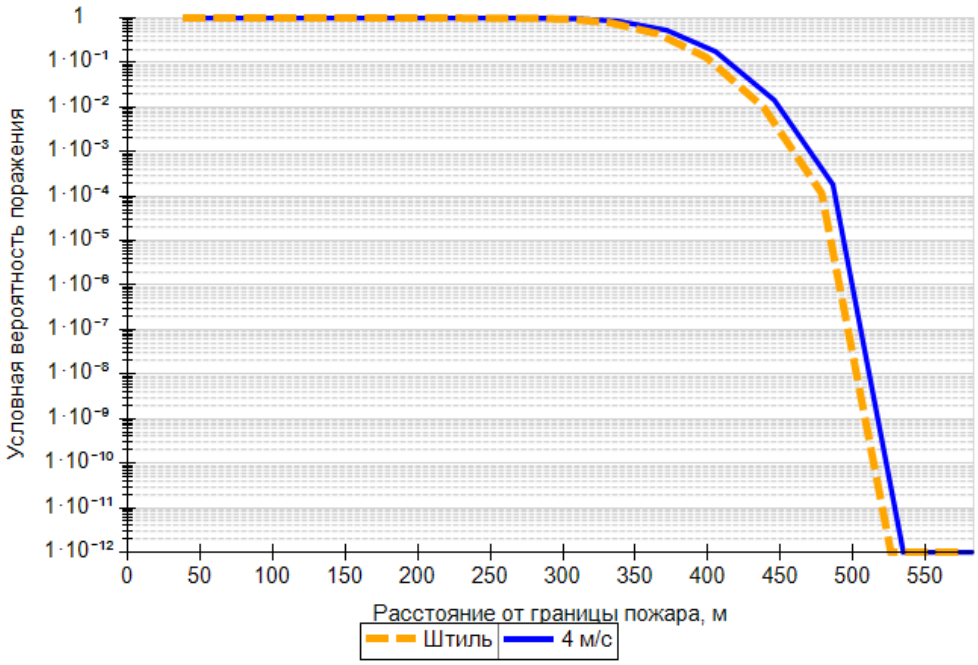
Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

8.1.3. Разрушение

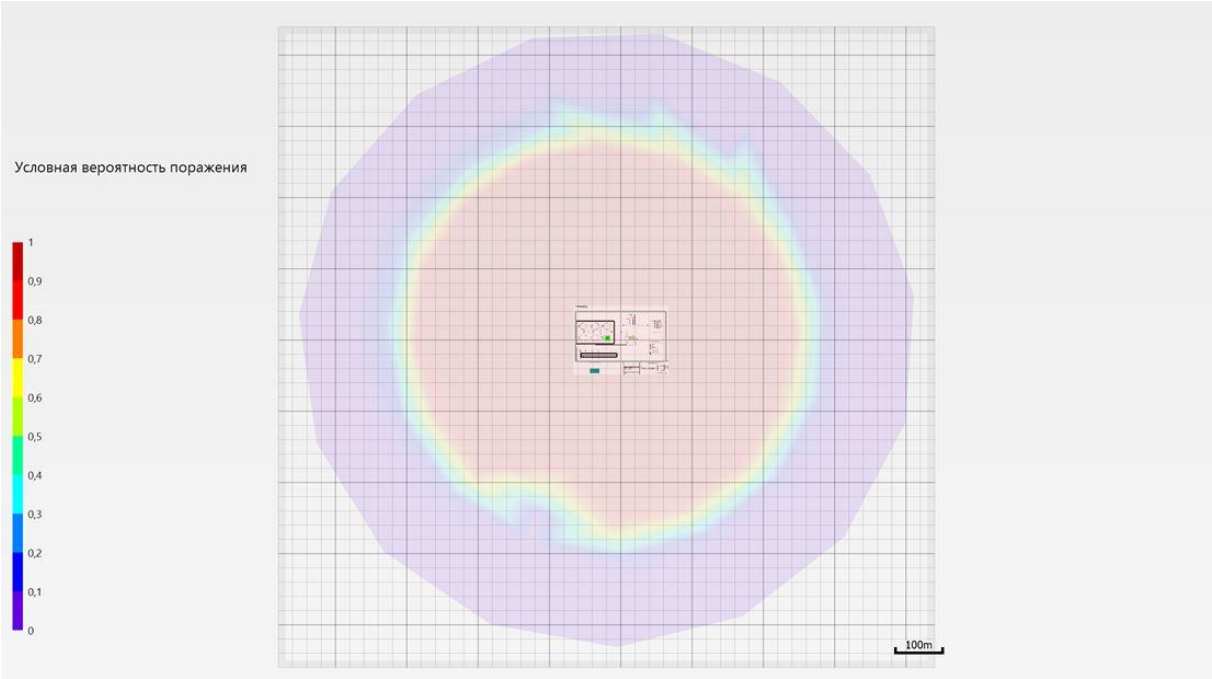
Пожар пролива

Вероятность поражения человека тепловым излучением от пожара в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом II приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и при ветре.



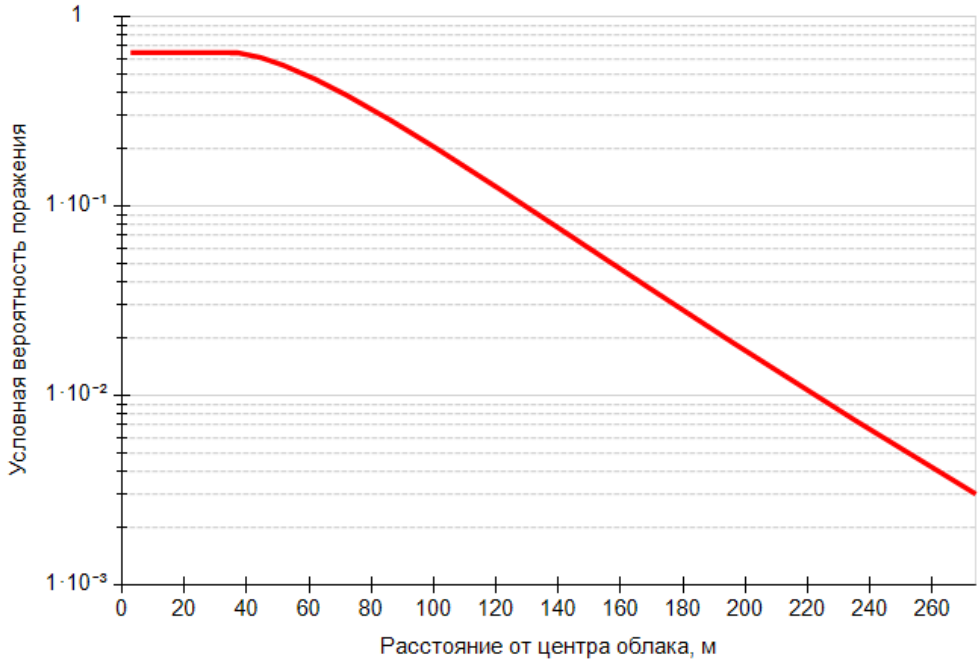
Значения условной вероятности поражения при штиле и при ветре



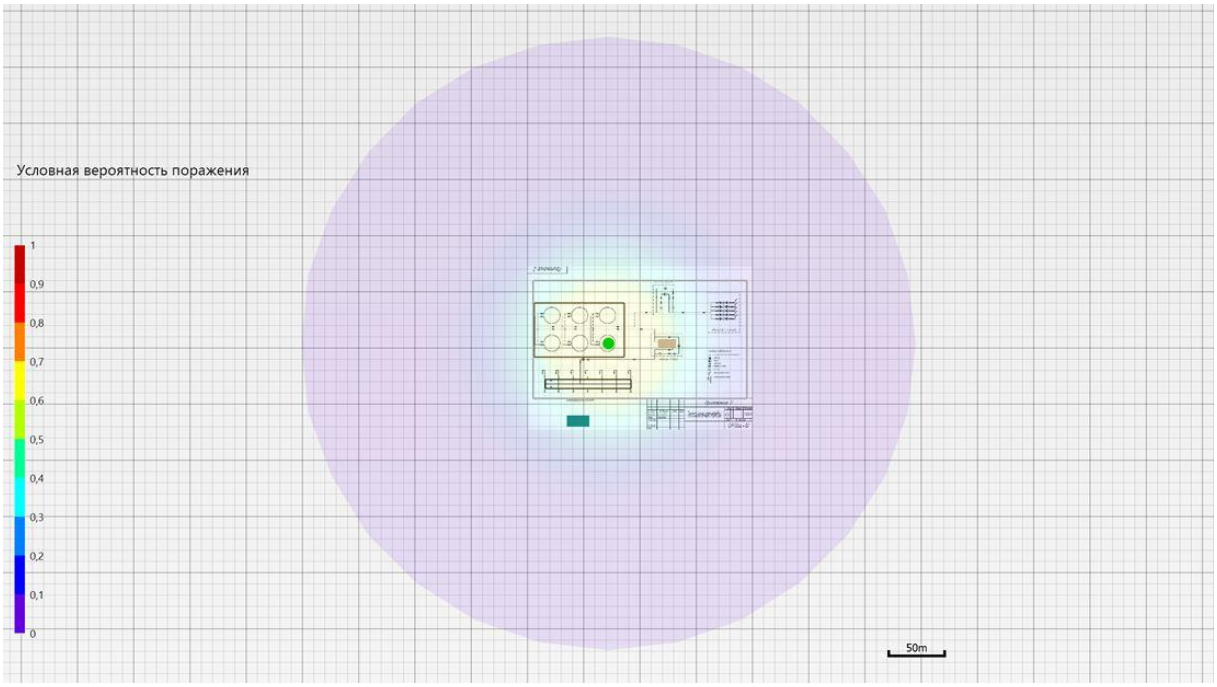
Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

Взрыв ТВС

Вероятность поражения человека волной давления при взрыве в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом I приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от центра облака.



Условная вероятность поражения человека волной давления



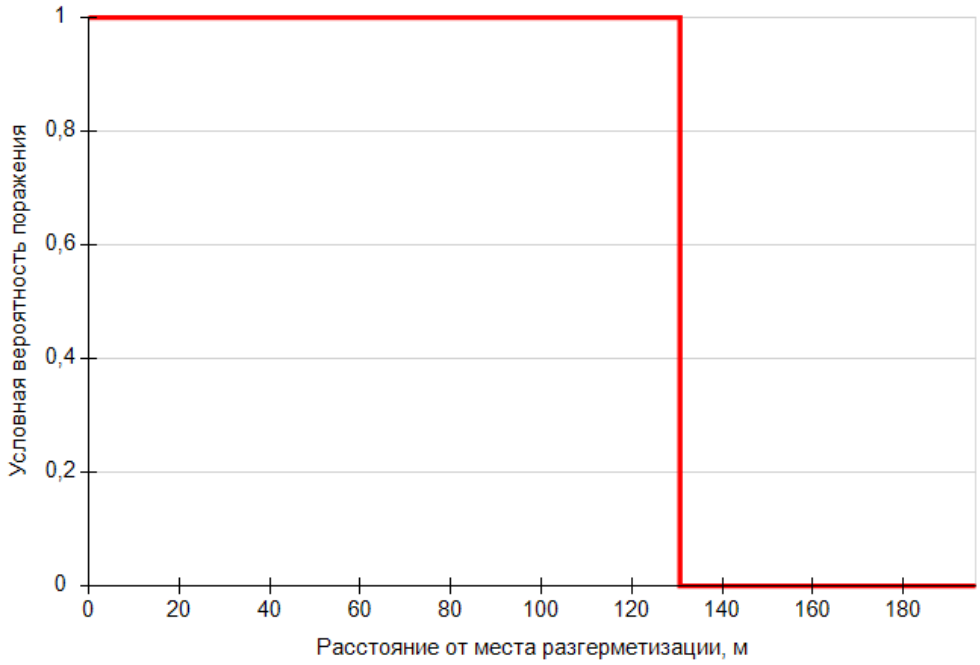
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

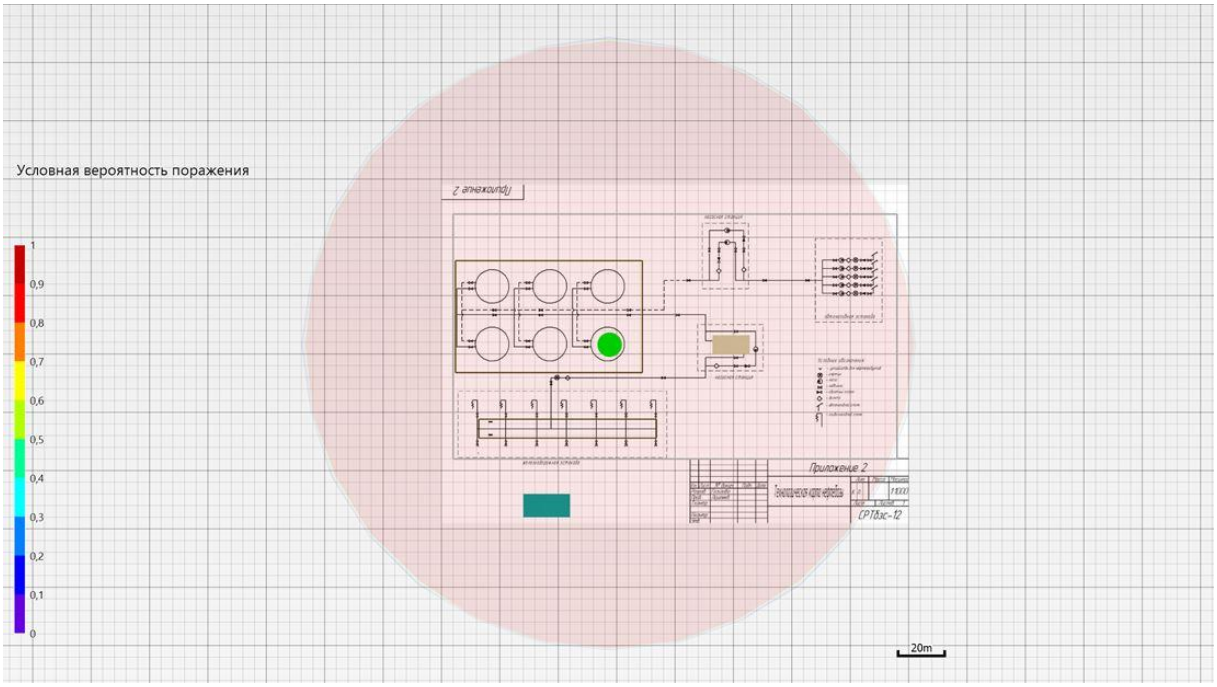
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газопаровоздушного облака при пожаре-вспышке составляет:

$$R_F = 1{,}2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1{,}2 \cdot 108{,}9 \text{ м} = 130{,}7 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



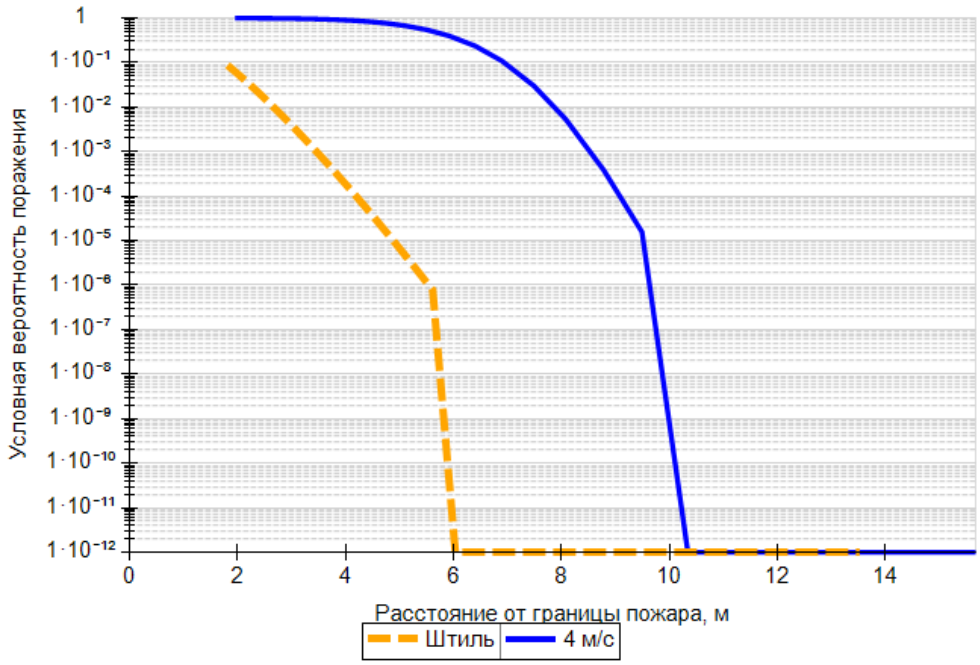
Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

8.1.4. Пожар на дыхательной арматуре

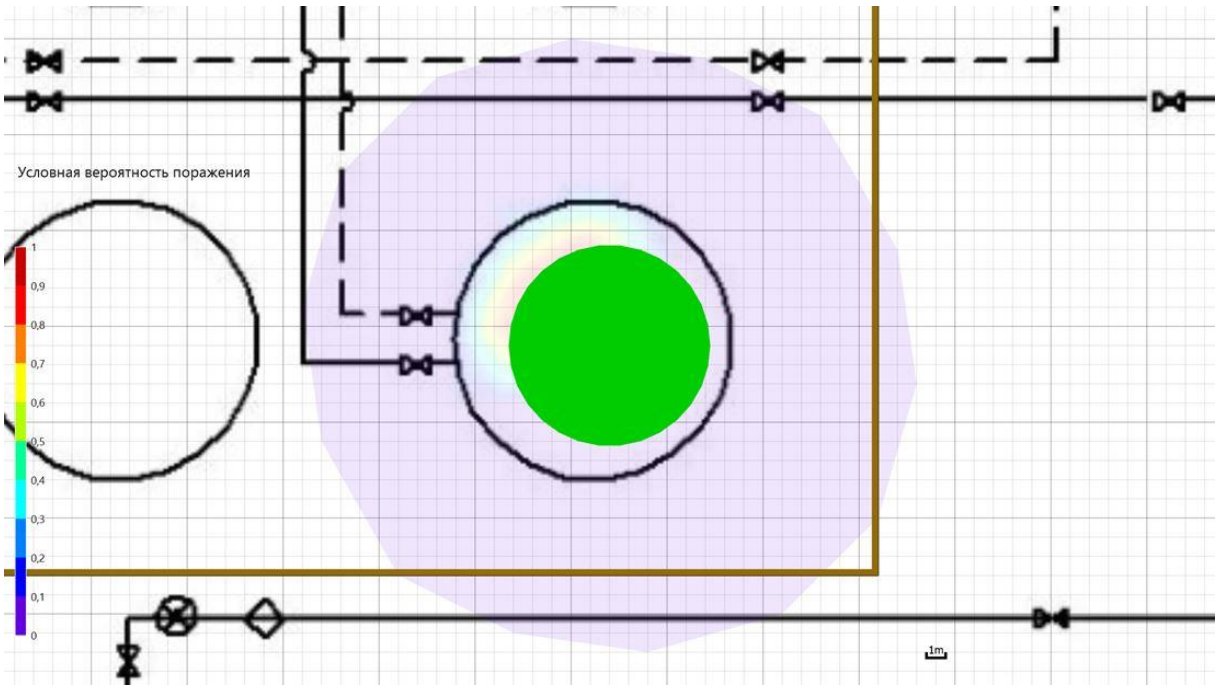
Пожар на дыхательной арматуре

Вероятность поражения человека тепловым излучением от пожара в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом II приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и при ветре.



Значения условной вероятности поражения при штиле и при ветре



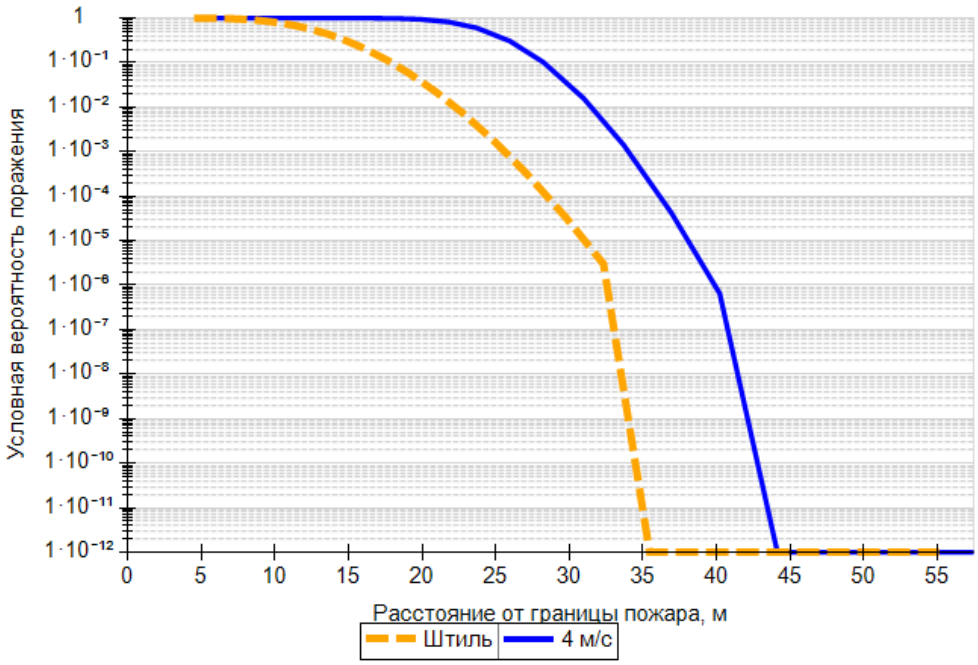
Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

8.1.5. Пожар по поверхности

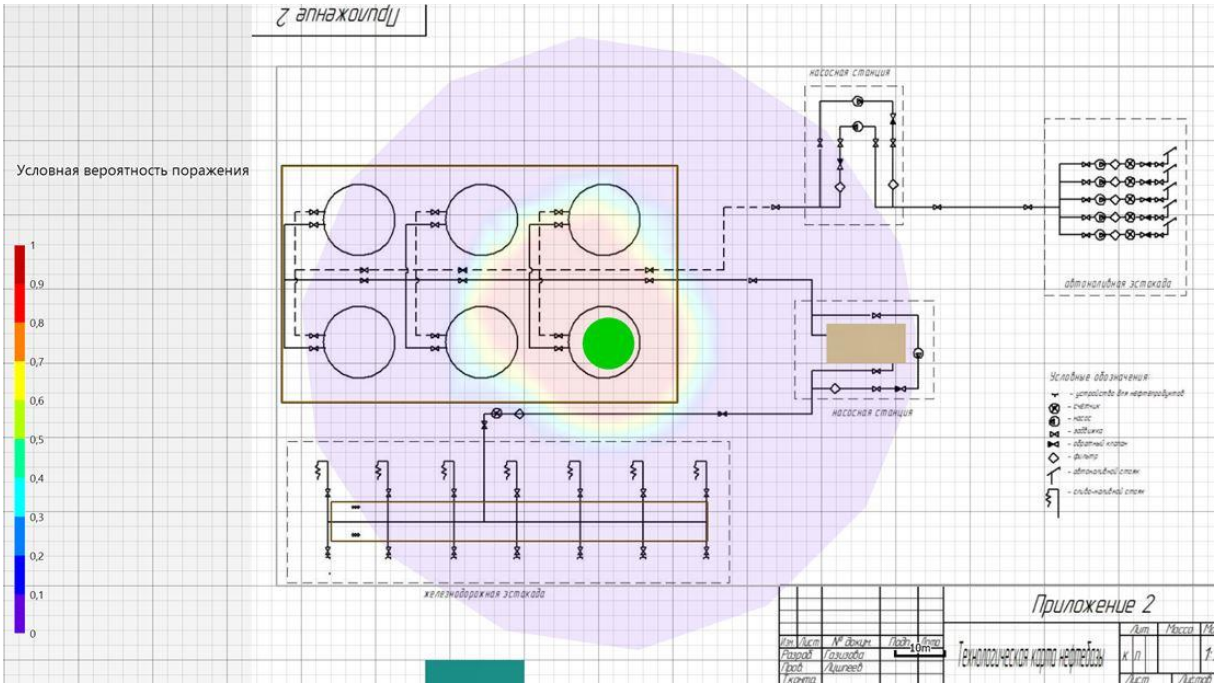
Пожар по поверхности

Вероятность поражения человека тепловым излучением от пожара в каждой точке территории объекта определена в соответствии с разделом II приложения 4 [3] в зависимости от расстояния от геометрического центра пожара до облучаемого объекта.

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при штиле и при ветре.



Значения условной вероятности поражения при штиле и при ветре



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

9. Значения расчетных величин пожарного риска для объекта защиты

9.1. Потенциальный пожарный риск

9.1.1. Потенциальный риск от оборудования объекта

Величина потенциального пожарного риска в определенной точке территории определяется по формуле:

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

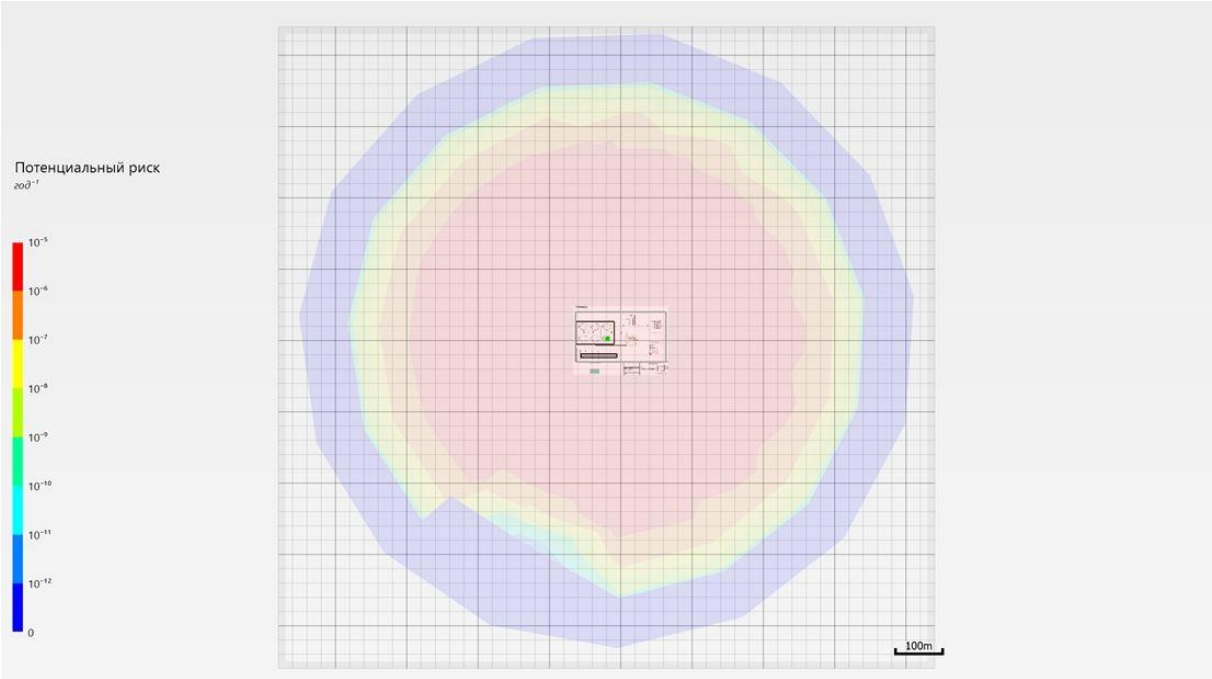
где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(a)$ – 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$^{-1}$.

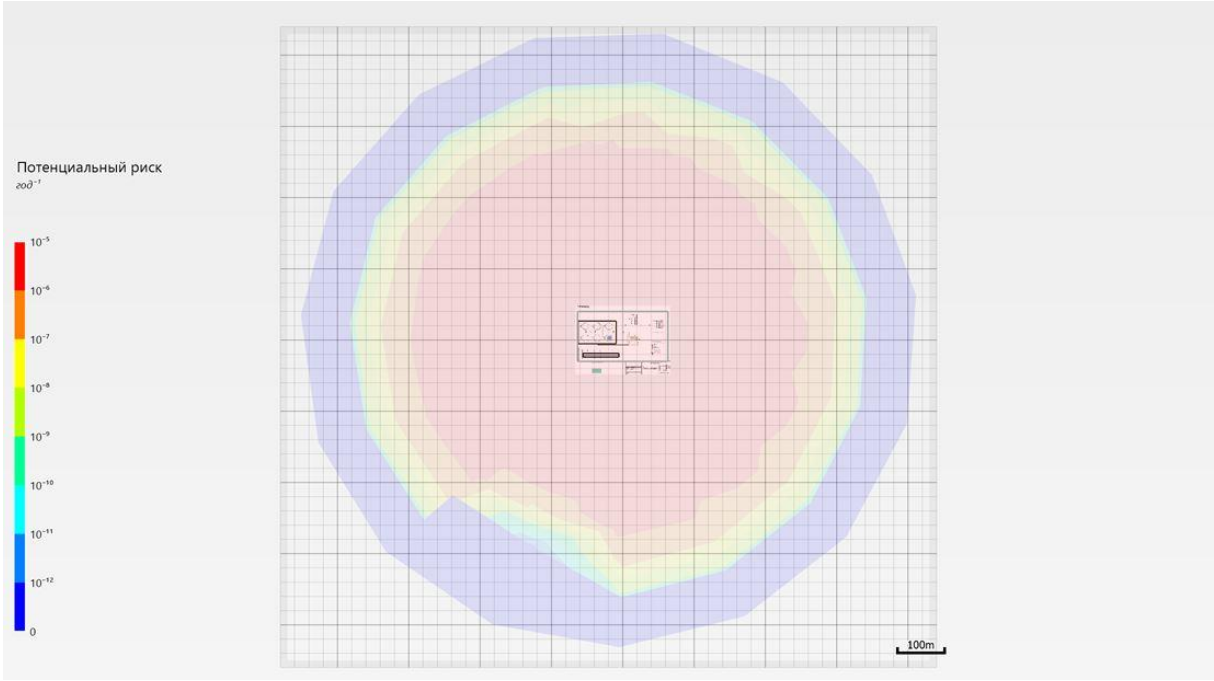
Ниже приведены поля потенциального пожарного риска, обусловленного возникновением пожароопасных ситуаций в оборудовании объекта.

PBC_01



Поле потенциального пожарного риска (PBC_01)

Путем суммирования полученных полей потенциального риска в каждой точке объекта получено поле суммарного потенциального риска, обусловленного возникновением пожароопасных ситуаций на всем оборудовании объекта.



Потенциальный пожарный риск от оборудования объекта

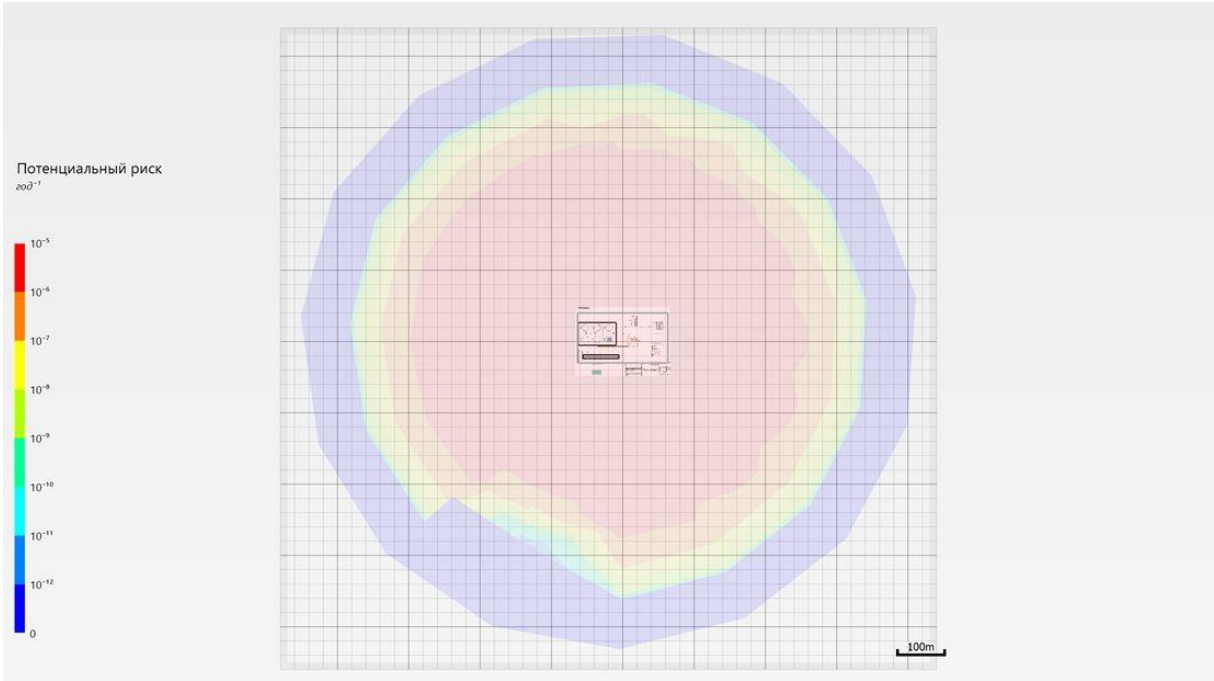
9.1.2. Потенциальный пожарный риск в зданиях объекта

Потенциальный пожарный риск в зданиях объекта представлен в таблице.

Потенциальный пожарный риск в зданиях объекта

Здание	P, год$^{-1}$
Производственное здание_01	$7{,}912 \cdot 10^{-6}$

Путем суммирования полученных полей потенциального риска на открытой территории и в зданиях объекта получено поле суммарного потенциального риска.



Поле суммарного потенциального пожарного риска

9.2. Индивидуальный пожарный риск

9.2.1. Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта

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

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

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

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

Результаты расчетов приведены в таблице.

Расчет индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта

Здание, область территории объекта	q	P, год$^{-1}$	R, год$^{-1}$
Операторы нефтебазы			
Производственное здание_01	0,11279	$1{,}14 \cdot 10^{-5}$	$1{,}286 \cdot 10^{-6}$
Обвалование_01	0,05639	$3{,}973 \cdot 10^{-5}$	$2{,}24 \cdot 10^{-6}$
Обвалование_02	0,05639	$1{,}07 \cdot 10^{-5}$	$6{,}035 \cdot 10^{-7}$
ост. часть территории	0,11279	$1{,}004 \cdot 10^{-5}$	$1{,}132 \cdot 10^{-6}$
Итого: $R_m =$			$5{,}262 \cdot 10^{-6}$

9.2.2. Индивидуальный пожарный риск для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта

Для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск принимается на основе потенциального риска в этих зонах и доли времени присутствия людей в зданиях, прочих открытых территориях, расположенных в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи производственного объекта и вычисляется по формуле:

$$R_i = P_i \cdot q_i,$$

где P_i – интегрированная по площади величина потенциального риска в месте расположения указанных зданий, а также прочих открытых территорий в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах, год$^{-1}$;

q_i – доля времени присутствия, принимаемая: для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1 – 1; для зданий классов функциональной пожарной опасности Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5 – доля времени присутствия людей в соответствии с организационно-распорядительными документами для этих зданий; для прочих открытых территорий в общественно-деловой или рекреационных зонах определяется на основе времени нахождения в них людей, а при отсутствии сведений ее следует принимать равной 1.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Расчет индивидуального пожарного риска вблизи объекта

Здание, область территории объекта	q	P, год$^{-1}$	R, год$^{-1}$
Жители двуквартирного дома			
Здание в селитебной зоне_01	1	$1{,}613 \cdot 10^{-6}$	$1{,}613 \cdot 10^{-6}$

9.3. Социальный пожарный риск

Для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта, социальный риск S (год$^{-1}$) определяется по формуле:

$$S = \sum_{j=1}^{L} Q_j ,$$

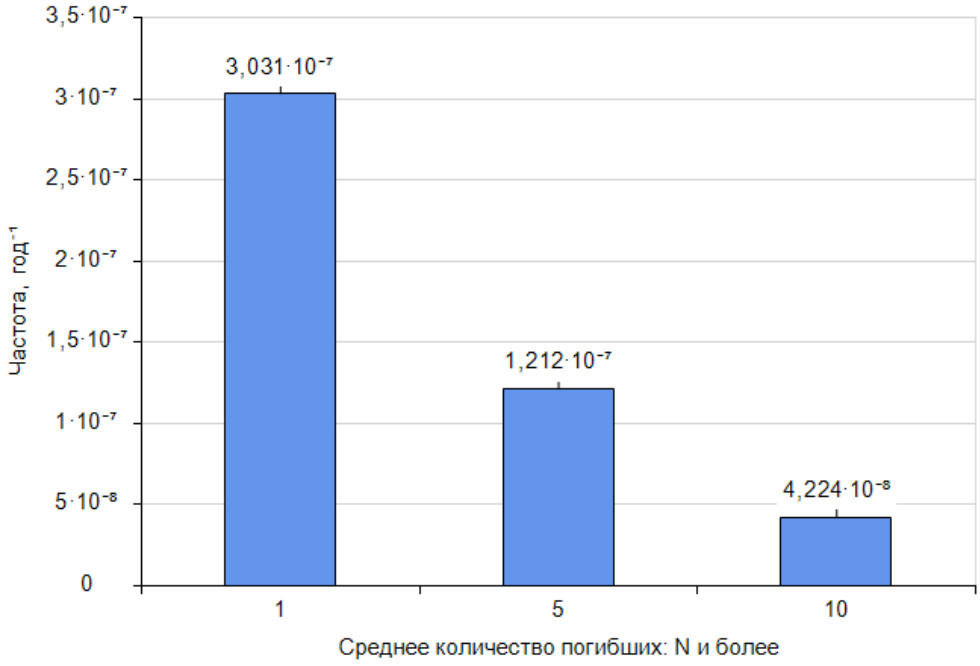
где L – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров), для которых среднее количество погибших людей в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта в результате воздействия опасных факторов превышает 10 человек;

Q_j – частота возникновения j-го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), год$^{-1}$.

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

Инициирующее событие	Номер сценария	Наименование сценария	Среднее количество погибших, чел.	Частота возникновения, год$^{-1}$
PBC_01				
Разрушение	11	Пожар-вспышка	12	$4{,}224 \cdot 10^{-8}$

Таким образом, социальный пожарный риск (сумма частот возникновения вышеперечисленных событий, ведущих к гибели 10 и более человек) составляет $4{,}224 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.



F-N диаграмма социального риска

10. Вывод

В результате проведенных расчетов получены следующие значения пожарных рисков.

Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территориях объекта составляет $5{,}262 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$, что **превышает** нормативное значение 10^{-6} год$^{-1}$, установленное п. 1 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1]. Согласно п. 3 ст. 93 [1], для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, составляет $1{,}613 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$, что **превышает** нормативное значение 10^{-8} год$^{-1}$, установленное п. 4 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1].

Социальный пожарный риск воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта, составляет $4{,}224 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$, что **не превышает** нормативное значение 10^{-7} год$^{-1}$, установленное п. 5 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1].

В соответствии со статьей 6 и статьей 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] пожарная безопасность объекта защиты не обеспечивается.

11. Перечень исходных данных и используемых источников информации

1. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (в ред. от 25.12.2023).

2. Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».

3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС России от 26.06.2024 г. № 533).

4. СП 505.1311500.2021 «Расчет пожарного риска. Требования к оформлению».

5. СП 131.13330.2025 «Строительная климатология» (утв. Приказом Минстроя России от 08.08.2025 N 470/пр)

6. СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика».

7. СТО Газпром 2-2.3-400-2009 «Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО "Газпром"».

8. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования (с изм. № 1 от 01.10.1993).

9. ГОСТ 12.1.044-2018. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (в ред. от 13.08.2024).

10. 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.

11. 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.

12. Земский Г.Т., Зуйков А.В. Категорирование помещений с наличием летучих жидкостей // Пожарная безопасность. – 2013. – № 1. – С. 39-45.

13. Земский Г.Т. Физико-химические и огнеопасные свойства органических химических соединений: справ.: в 2 кн. – М., 2009.

14. Земский Г.Т. Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов: справ. – М.: ВНИИПО, 2016.

12. Приложения

12.1. Расчетные значения параметрических измерителей

Общие для всех параметрических измерителей расчетные величины определены в разделе «Построение полей опасных факторов пожара».

12.1.1. Параметрический измеритель_01

Величины опасных факторов пожара и вероятности поражения ***на расстоянии 20 м*** *от центра пожара/взрыва*

Инициирующее событие	Сценарий	ОФП	Q_d
РВС_01			
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	при штиле: 67,72 кВт/м²; при 4 м/с: 147,62 кВт/м²	1; 1
	Взрыв ТВС	9,1 кПа; 245,7 Па·с	0,074819
	Пожар-вспышка	32,5 м (39 м)	1
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива	∞	1
	Взрыв ТВС	20,8 кПа; 1263,9 Па·с	0,646583
	Пожар-вспышка	69,8 м (83,8 м)	1
Разрушение	Пожар пролива	∞	1
	Взрыв ТВС	20,8 кПа; 1979,7 Па·с	0,646583
	Пожар-вспышка	108,9 м (130,7 м)	1
Пожар на дыхательной арматуре	Пожар на дыхательной арматуре	при штиле: 2,03 кВт/м²; при 4 м/с: 2,04 кВт/м²	0; 0
Пожар по поверхности	Пожар по поверхности	при штиле: 23,34 кВт/м²; при 4 м/с: 66,27 кВт/м²	$2{,}292\cdot10^{-1}$; $9{,}983\cdot10^{-1}$

РВС_01. Разгерметизация 25 мм. Пожар пролива

Расчет теплового потока при штиле.

Параметр u_*:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_П}}} = \frac{0}{\sqrt[3]{\frac{0{,}11 \cdot 9{,}81 \cdot 22}{2{,}693}}} = 0.$$

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

Длина пламени:

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0{,}61} = 42 \cdot 22 \cdot \left(\frac{0{,}11}{1{,}14 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 22}}\right)^{0{,}61} = 43{,}2 \text{ м}.$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта: 20 м.

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 43{,}2}{22} = 3{,}93;\ b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 20}{22} = 1{,}82;$$

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

$$= \sqrt{3,93^2 + (1,82+1)^2 - 2 \cdot 3,93 \cdot (1,82+1) \cdot 0} = 4,83;$$

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

$$= \sqrt{3,93^2 + (1,82-1)^2 - 2 \cdot 3,93 \cdot (1,82-1) \cdot 0} = 4,01;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2-1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,82^2-1) \cdot 1^2} = 1,82;$$

$$D = \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{1,82-1}{1,82+1}} = 0,54;$$

$$E = \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{3,93 \cdot 1}{1,82 - 3,93 \cdot 0} = 2,16;$$

$$F = \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{1,82^2 - 1} = 1,52;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

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

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -2,16 \cdot \arctan(0,54) + 2,16 \cdot \left[\frac{3,93^2 + (1,82+1)^2 - 2 \cdot 1,82 \cdot (1 + 3,93 \cdot 0)}{4,83 \cdot 4,01} \right] \times \right.$$

$$\left. \times \arctan\left(\frac{4,83 \cdot 0,54}{4,01}\right) + \frac{1}{1,82} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3,93 \cdot 1,82 - 1,52^2 \cdot 0}{1,52 \cdot 1,82}\right) + \arctan\left(\frac{1,52^2 \cdot 0}{1,52 \cdot 1,82}\right) \right] \right\} =$$

$$= 0,273.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right.$$

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,54}\right) + \frac{0}{1,82} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3,93 \cdot 1,82 - 1,52^2 \cdot 0}{1,52 \cdot 1,82}\right) + \arctan\left(\frac{1,52^2 \cdot 0}{1,52 \cdot 1,82}\right) \right] - \right.$$

$$\left. - \left[\frac{3,93^2 + (1,82+1)^2 - 2 \cdot (1,82 + 1 + 3,93 \cdot 1,82 \cdot 0)}{4,83 \cdot 4,01} \right] \cdot \arctan\left(\frac{4,83 \cdot 0,54}{4,01}\right) \right\} =$$

$$= 0,175.$$

Угловой коэффициент облученности: $F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,075 + 0,031} = 0,324$.

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)\right) = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 0,5 \cdot 22)\right) = 0,994.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$E_f = \frac{0,4 \cdot m' \cdot H_{\text{СГ}}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)} = \frac{0,4 \cdot 0,11 \cdot 42,266 \cdot 1000}{\left(1 + 4 \cdot \frac{43,2}{22}\right)} = 210 \text{ кВт/м}^2.$$

Интенсивность теплового излучения: $q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 210 \cdot 0,324 \cdot 0,994 = 67,72$ кВт/м².

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Параметр u_*:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_П}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0{,}11 \cdot 9{,}81 \cdot 22}{2{,}693}}} = 1{,}94.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos\theta = u_*^{-0{,}5} = 1{,}94^{-0{,}5} = 0{,}718;$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0{,}718^2} = 0{,}696.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0{,}67} \cdot u_*^{-0{,}21} = 55 \cdot 22 \cdot \left(\frac{0{,}11}{1{,}14 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 22}}\right)^{0{,}67} \cdot 1{,}94^{-0{,}21} = 36{,}4 \text{ м}.$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта: 20 м.

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 36{,}4}{22} = 3{,}31;\ b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 20}{22} = 1{,}82;$$

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

$$= \sqrt{3{,}31^2 + (1{,}82+1)^2 - 2 \cdot 3{,}31 \cdot (1{,}82+1) \cdot 0{,}696} = 2{,}43;$$

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

$$= \sqrt{3{,}31^2 + (1{,}82-1)^2 - 2 \cdot 3{,}31 \cdot (1{,}82-1) \cdot 0{,}696} = 2{,}8;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1{,}82^2 - 1) \cdot 0{,}718^2} = 1{,}48;$$

$$D = \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{1{,}82-1}{1{,}82+1}} = 0{,}54;$$

$$E = \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{3{,}31 \cdot 0{,}718}{1{,}82 - 3{,}31 \cdot 0{,}696} = -4{,}91;$$

$$F = \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{1{,}82^2 - 1} = 1{,}52;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

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

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{- - 4{,}91 \cdot \arctan(0{,}54) + -4{,}91 \cdot \left[\frac{3{,}31^2 + (1{,}82+1)^2 - 2 \cdot 1{,}82 \cdot (1 + 3{,}31 \cdot 0{,}696)}{2{,}43 \cdot 2{,}8}\right] \times \right.$$

$$\left. \times \arctan\left(\frac{2{,}43 \cdot 0{,}54}{2{,}8}\right) + \frac{0{,}718}{1{,}48} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3{,}31 \cdot 1{,}82 - 1{,}52^2 \cdot 0{,}696}{1{,}52 \cdot 1{,}48}\right) + \arctan\left(\frac{1{,}52^2 \cdot 0{,}696}{1{,}52 \cdot 1{,}48}\right)\right]\right\} =$$

$$= 0{,}347.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right.$$
$$\left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b + 1 + a \cdot b \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} =$$
$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0{,}54}\right) + \frac{0{,}696}{1{,}48} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3{,}31 \cdot 1{,}82 - 1{,}52^2 \cdot 0{,}696}{1{,}52 \cdot 1{,}48}\right) + \arctan\left(\frac{1{,}52^2 \cdot 0{,}696}{1{,}52 \cdot 1{,}48}\right) \right] - \right.$$
$$\left. - \left[\frac{3{,}31^2 + (1{,}82+1)^2 - 2 \cdot (1{,}82 + 1 + 3{,}31 \cdot 1{,}82 \cdot 0{,}696)}{2{,}43 \cdot 2{,}8} \right] \cdot \arctan\left(\frac{2{,}43 \cdot 0{,}54}{2{,}8}\right) \right\} =$$
$$= 0{,}5.$$

Угловой коэффициент облученности: $F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0{,}121 + 0{,}25} = 0{,}609$.

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0{,}5 \cdot d)\right) = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 0{,}5 \cdot 22)\right) = 0{,}994.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$E_f = \frac{0{,}4 \cdot m' \cdot H_{\text{СГ}}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)} = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}11 \cdot 42{,}266 \cdot 1000}{\left(1 + 4 \cdot \frac{36{,}4}{22}\right)} = 244 \text{ кВт/м}^2.$$

Интенсивность теплового излучения: $q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 244 \cdot 0{,}609 \cdot 0{,}994 = 147{,}62$ кВт/м².

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара при штиле.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение (4 кВт/м²) составляет:

$$x = r_4 - r' = 110{,}6 - 20 = 90{,}6 \text{ м}.$$

Величина эффективного времени экспозиции:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{90{,}6}{5} = 23{,}1 \text{ с}.$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(t \cdot q^{4/3}\right) = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(23{,}1 \cdot 67{,}72^{4/3}\right) = 9{,}629.$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{9{,}629-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0{,}999998.$$

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара при ветре 4 м/с.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение (4 кВт/м²) составляет:

$$x = r_4 - r' = 113{,}6 - 20 = 93{,}6 \text{ м}.$$

Величина эффективного времени экспозиции:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{93{,}6}{5} = 23{,}7 \text{ с}.$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(t \cdot q^{4/3}\right) = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(23{,}7 \cdot 147{,}62^{4/3}\right) = 12{,}355.$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{12,355-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 1.$$

PBC_01. Разгерметизация 25 мм. Взрыв ТВС

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{20}{(2918,12 \cdot 10^6/101300)^{1/3}} = 0,652.$$

Безразмерное давление P_{x1} для класса 5 режима сгорания облака.

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right) = \left(\frac{113,1^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{0,652} - \frac{0,14}{0,652^2}\right) = 0,09.$$

Безразмерное давление P_{x2} для класса 1 режима сгорания облака.

$$P_{x2} = \exp\left(-0,9278 - 1,5415 \cdot \ln(R_x) + 0,1953 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^2 - 0,4818 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^3\right) =$$

$$= \exp\left(-0,9278 - 1,5415 \cdot \ln(0,652) + 0,1953 \cdot \left(\ln(0,652)\right)^2 - 0,4818 \cdot \left(\ln(0,652)\right)^3\right) = 0,822.$$

$$P_x = \min(P_{x1},\ P_{x2}) = \min(0,09,\ 0,822) = 0,09.$$

$$\Delta P = P_x \cdot P_0 = 0,09 \cdot 101300 = 9,067 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

Безразмерный импульс I_{x1} для класса 5 режима сгорания облака.

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

$$= 0,285 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,285) \cdot \left(\frac{0,06}{0,65} + \frac{0,01}{0,65^2} - \frac{0,0025}{0,65^3}\right) = 0,027;$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{113,1}{340} \cdot \frac{7-1}{7} = 0,285.$$

Безразмерный импульс I_{x2} для класса 1 режима сгорания облака.

$$I_{x2} = \exp\left(-3,3228 - 1,3689 \cdot \ln(R_x) - 0,9057 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^2 - 0,4818 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^3\right) =$$

$$= \exp\left(-3,3228 - 1,3689 \cdot \ln(0,65) - 0,9057 \cdot \left(\ln(0,65)\right)^2 - 0,4818 \cdot \left(\ln(0,65)\right)^3\right) = 0,057.$$

$$I_x = \min(I_{x1},\ I_{x2}) = \min(0,027,\ 0,057) = 0,027.$$

Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,027 \cdot 101300^{2/3} \cdot (2918,12 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 245,7 \text{ Па·с}.$$

Величина параметра V:

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{9,067 \cdot 10^3}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{245,7}\right)^{9,3} = 255,081.$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 255,081 = 3,559.$$

Условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{3,559-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0,074819.$$

РВС_01. Разгерметизация 25 мм. Пожар-вспышка

Объект попадает в область возможного воздействия пожара-вспышки. Вероятность поражения человека равна 100 %.

РВС_01. Разгерметизация 100 мм. Пожар пролива

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта 20 м – не превышает эффективный радиус пожара, т.е. облучаемый объект находится в зоне непосредственного воздействия пламени, тепловой поток не рассчитывается.

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени, принимается равной 1.

РВС_01. Разгерметизация 100 мм. Взрыв ТВС

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{20}{(29518{,}5 \cdot 10^6/101300)^{1/3}} = 0{,}302.$$

Безразмерное давление P_{x1} для класса 5 режима сгорания облака.

Так как $R_x < 0{,}34$, R_x принимается равным 0,34.

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0{,}83}{R_x} - \frac{0{,}14}{R_x^2}\right) = \left(\frac{150^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0{,}83}{0{,}34} - \frac{0{,}14}{0{,}34^2}\right) = 0{,}205.$$

Безразмерное давление P_{x2} для класса 1 режима сгорания облака.

$$P_{x2} = \exp\left(-0{,}9278 - 1{,}5415 \cdot \ln(R_x) + 0{,}1953 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^2 - 0{,}4818 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^3\right) =$$

$$= \exp\left(-0{,}9278 - 1{,}5415 \cdot \ln(0{,}34) + 0{,}1953 \cdot \left(\ln(0{,}34)\right)^2 - 0{,}4818 \cdot \left(\ln(0{,}34)\right)^3\right) = 4{,}794.$$

$$P_x = \min(P_{x1},\ P_{x2}) = \min(0{,}205,\ 4{,}794) = 0{,}205.$$

$$\Delta P = P_x \cdot P_0 = 0{,}205 \cdot 101300 = 2{,}079 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Безразмерный импульс I_{x1} для класса 5 режима сгорания облака.

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

$$= 0{,}378 \cdot (1 - 0{,}4 \cdot 0{,}378) \cdot \left(\frac{0{,}06}{0{,}34} + \frac{0{,}01}{0{,}34^2} - \frac{0{,}0025}{0{,}34^3}\right) = 0{,}064;$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{150}{340} \cdot \frac{7-1}{7} = 0{,}378.$$

Безразмерный импульс I_{x2} для класса 1 режима сгорания облака.

$$I_{x2} = \exp\left(-3{,}3228 - 1{,}3689 \cdot \ln(R_x) - 0{,}9057 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^2 - 0{,}4818 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^3\right) =$$

$$= \exp\left(-3{,}3228 - 1{,}3689 \cdot \ln(0{,}34) - 0{,}9057 \cdot \left(\ln(0{,}34)\right)^2 - 0{,}4818 \cdot \left(\ln(0{,}34)\right)^3\right) = 0{,}101.$$

$$I_x = \min(I_{x1},\ I_{x2}) = \min(0{,}064,\ 0{,}101) = 0{,}064.$$

Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0{,}064 \cdot 101300^{2/3} \cdot (29518{,}5 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 1263{,}9 \text{ Па·с}.$$

Величина параметра V:

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,079 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1263,9}\right)^{9,3} = 0,235.$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 0,235 = 5,376.$$

Условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{5,376-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0,646583.$$

РВС_01. Разгерметизация 100 мм. Пожар-вспышка

Объект попадает в область возможного воздействия пожара-вспышки. Вероятность поражения человека равна 100 %.

РВС_01. Разрушение. Пожар пролива

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта 20 м – не превышает эффективный радиус пожара, т.е. облучаемый объект находится в зоне непосредственного воздействия пламени, тепловой поток не рассчитывается.

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени, принимается равной 1.

РВС_01. Разрушение. Взрыв ТВС

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{20}{(113436,12 \cdot 10^6/101300)^{1/3}} = 0,193.$$

Безразмерное давление P_{x1} для класса 5 режима сгорания облака.

Так как $R_x < 0,34$, R_x принимается равным 0,34.

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right) = \left(\frac{150^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{0,34} - \frac{0,14}{0,34^2}\right) = 0,205.$$

Безразмерное давление P_{x2} для класса 1 режима сгорания облака.

$$P_{x2} = \exp\left(-0,9278 - 1,5415 \cdot \ln(R_x) + 0,1953 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^2 - 0,4818 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^3\right) =$$

$$= \exp\left(-0,9278 - 1,5415 \cdot \ln(0,34) + 0,1953 \cdot \left(\ln(0,34)\right)^2 - 0,4818 \cdot \left(\ln(0,34)\right)^3\right) = 4,794.$$

$$P_x = \min(P_{x1},\ P_{x2}) = \min(0,205,\ 4,794) = 0,205.$$

$$\Delta P = P_x \cdot P_0 = 0,205 \cdot 101300 = 2,079 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Безразмерный импульс I_{x1} для класса 5 режима сгорания облака.

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

$$= 0,378 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,378) \cdot \left(\frac{0,06}{0,34} + \frac{0,01}{0,34^2} - \frac{0,0025}{0,34^3}\right) = 0,064;$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{150}{340} \cdot \frac{7-1}{7} = 0,378.$$

Безразмерный импульс I_{x2} для класса 1 режима сгорания облака.

$$I_{x2} = \exp\left(-3,3228 - 1,3689 \cdot \ln(R_x) - 0,9057 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^2 - 0,4818 \cdot \left(\ln(R_x)\right)^3\right) =$$

$$= \exp\left(-3{,}3228 - 1{,}3689 \cdot \ln(0{,}34) - 0{,}9057 \cdot \left(\ln(0{,}34)\right)^2 - 0{,}4818 \cdot \left(\ln(0{,}34)\right)^3\right) = 0{,}101.$$

$$I_x = \min(I_{x1},\ I_{x2}) = \min(0{,}064,\ 0{,}101) = 0{,}064.$$

Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0{,}064 \cdot 101300^{2/3} \cdot (113436{,}12 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 1979{,}7 \text{ Па·с.}$$

Величина параметра V:

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2{,}079 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1979{,}7}\right)^{9,3} = 0{,}235.$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = 5 - 0{,}26 \cdot \ln V = 5 - 0{,}26 \cdot \ln 0{,}235 = 5{,}376.$$

Условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{5{,}376-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0{,}646583.$$

РВС_01. Разрушение. Пожар-вспышка

Объект попадает в область возможного воздействия пожара-вспышки. Вероятность поражения человека равна 100 %.

РВС_01. Пожар на дыхательной арматуре. Пожар на дыхательной арматуре

Расчет теплового потока при штиле.

Параметр u_*:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_П}}} = \frac{0}{\sqrt[3]{\frac{0{,}11 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}5}{2{,}693}}} = 0.$$

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

Длина пламени:

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0,61} = 42 \cdot 2{,}5 \cdot \left(\frac{0{,}11}{1{,}14 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 2{,}5}}\right)^{0,61} = 9{,}6 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта: 20 м.

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 9{,}6}{2{,}5} = 7{,}6;\ b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 20}{2{,}5} = 15{,}85;$$

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

$$= \sqrt{7{,}6^2 + (15{,}85+1)^2 - 2 \cdot 7{,}6 \cdot (15{,}85+1) \cdot 0} = 18{,}49;$$

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

$$= \sqrt{7{,}6^2 + (15{,}85-1)^2 - 2 \cdot 7{,}6 \cdot (15{,}85-1) \cdot 0} = 16{,}68;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (15{,}85^2 - 1) \cdot 1^2} = 15{,}85;$$

$$D = \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{15{,}85-1}{15{,}85+1}} = 0{,}94;$$

$$E = \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{7{,}6 \cdot 1}{15{,}85 - 7{,}6 \cdot 0} = 0{,}48;$$

$$F = \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{15{,}85^2 - 1} = 15{,}82;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right.$$
$$\left. \times \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] \right\} =$$
$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -0{,}48 \cdot \arctan(0{,}94) + 0{,}48 \cdot \left[\frac{7{,}6^2 + (15{,}85+1)^2 - 2 \cdot 15{,}85 \cdot (1 + 7{,}6 \cdot 0)}{18{,}49 \cdot 16{,}68} \right] \times \right.$$
$$\left. \times \arctan\left(\frac{18{,}49 \cdot 0{,}94}{16{,}68}\right) + \frac{1}{15{,}85} \cdot \left[\arctan\left(\frac{7{,}6 \cdot 15{,}85 - 15{,}82^2 \cdot 0}{15{,}82 \cdot 15{,}85}\right) + \arctan\left(\frac{15{,}82^2 \cdot 0}{15{,}82 \cdot 15{,}85}\right) \right] \right\} =$$
$$= 0{,}017.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right.$$
$$\left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b + 1 + a \cdot b \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} =$$
$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0{,}94}\right) + \frac{0}{15{,}85} \cdot \left[\arctan\left(\frac{7{,}6 \cdot 15{,}85 - 15{,}82^2 \cdot 0}{15{,}82 \cdot 15{,}85}\right) + \arctan\left(\frac{15{,}82^2 \cdot 0}{15{,}82 \cdot 15{,}85}\right) \right] - \right.$$
$$\left. - \left[\frac{7{,}6^2 + (15{,}85+1)^2 - 2 \cdot (15{,}85 + 1 + 7{,}6 \cdot 15{,}85 \cdot 0)}{18{,}49 \cdot 16{,}68} \right] \cdot \arctan\left(\frac{18{,}49 \cdot 0{,}94}{16{,}68}\right) \right\} =$$
$$= 0{,}004.$$

Угловой коэффициент облученности: $F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{3{,}05 \cdot 10^{-4} + 1{,}665 \cdot 10^{-5}} = 0{,}018.$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0{,}5 \cdot d)\right) = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 0{,}5 \cdot 2{,}5)\right) = 0{,}987.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$E_f = \frac{0{,}4 \cdot m' \cdot H_{\text{СГ}}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)} = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}11 \cdot 42{,}266 \cdot 1000}{\left(1 + 4 \cdot \frac{9{,}6}{2{,}5}\right)} = 114{,}8 \text{ кВт/м}^2.$$

Интенсивность теплового излучения: $q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 114{,}8 \cdot 0{,}018 \cdot 0{,}987 = 2{,}03$ кВт/м².

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Параметр u_*:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\text{П}}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0{,}11 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}5}{2{,}693}}} = 3{,}99.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos\theta = u_*^{-0{,}5} = 3{,}99^{-0{,}5} = 0{,}501;$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0{,}501^2} = 0{,}866.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0,67} \cdot u_*^{-0,21} = 55 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,5}}\right)^{0,67} \cdot 3,99^{-0,21} = 7,4 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта: 20 м.

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 7,4}{2,5} = 5,88;\ b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 20}{2,5} = 15,85;$$

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

$$= \sqrt{5,88^2 + (15,85+1)^2 - 2 \cdot 5,88 \cdot (15,85+1) \cdot 0,866} = 12,13;$$

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

$$= \sqrt{5,88^2 + (15,85-1)^2 - 2 \cdot 5,88 \cdot (15,85-1) \cdot 0,866} = 10,2;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2-1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (15,85^2-1) \cdot 0,501^2} = 7,99;$$

$$D = \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{15,85-1}{15,85+1}} = 0,94;$$

$$E = \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{5,88 \cdot 0,501}{15,85 - 5,88 \cdot 0,866} = 0,27;$$

$$F = \sqrt{b^2-1} = \sqrt{15,85^2-1} = 15,82;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

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

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{-0,27 \cdot \arctan(0,94) + 0,27 \cdot \left[\frac{5,88^2 + (15,85+1)^2 - 2 \cdot 15,85 \cdot (1 + 5,88 \cdot 0,866)}{12,13 \cdot 10,2}\right] \times \right.$$

$$\left. \times \arctan\left(\frac{12,13 \cdot 0,94}{10,2}\right) + \frac{0,501}{7,99} \cdot \left[\arctan\left(\frac{5,88 \cdot 15,85 - 15,82^2 \cdot 0,866}{15,82 \cdot 7,99}\right) + \arctan\left(\frac{15,82^2 \cdot 0,866}{15,82 \cdot 7,99}\right)\right]\right\} =$$

$$= 0,014.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{\arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right)\right] - \right.$$

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{\arctan\left(\frac{1}{0,94}\right) + \frac{0,866}{7,99} \cdot \left[\arctan\left(\frac{5,88 \cdot 15,85 - 15,82^2 \cdot 0,866}{15,82 \cdot 7,99}\right) + \arctan\left(\frac{15,82^2 \cdot 0,866}{15,82 \cdot 7,99}\right)\right] - \right.$$

$$\left. - \left[\frac{5,88^2 + (15,85+1)^2 - 2 \cdot (15,85 + 1 + 5,88 \cdot 15,85 \cdot 0,866)}{12,13 \cdot 10,2}\right] \cdot \arctan\left(\frac{12,13 \cdot 0,94}{10,2}\right)\right\} =$$

$$= 0,002.$$

Угловой коэффициент облученности: $F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{1,958 \cdot 10^{-4} + 4,625 \cdot 10^{-6}} = 0,014$.

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0{,}5 \cdot d)\right) = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 0{,}5 \cdot 2{,}5)\right) = 0{,}987.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$E_f = \frac{0{,}4 \cdot m' \cdot H_{\text{СГ}}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)} = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}11 \cdot 42{,}266 \cdot 1000}{\left(1 + 4 \cdot \frac{7{,}4}{2{,}5}\right)} = 145{,}8 \text{ кВт/м}^2.$$

Интенсивность теплового излучения: $q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 145{,}8 \cdot 0{,}014 \cdot 0{,}987 = 2{,}04$ кВт/м².

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара при штиле.

Плотность теплового потока не превышает предельно допустимое значение 4 кВт/м². Вероятность поражения человека равна 0.

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара при ветре 4 м/с.

Плотность теплового потока не превышает предельно допустимое значение 4 кВт/м². Вероятность поражения человека равна 0.

РВС_01. Пожар по поверхности. Пожар по поверхности

Расчет теплового потока при штиле.

Параметр u_*:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\text{П}}}}} = \frac{0}{\sqrt[3]{\frac{0{,}11 \cdot 9{,}81 \cdot 10{,}5}{2{,}693}}} = 0.$$

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

Длина пламени:

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0{,}61} = 42 \cdot 10{,}5 \cdot \left(\frac{0{,}11}{1{,}14 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 10{,}5}}\right)^{0{,}61} = 25{,}8 \text{ м}.$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта: 20 м.

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 25{,}8}{10{,}5} = 4{,}92;\ b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 20}{10{,}5} = 3{,}81;$$

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

$$= \sqrt{4{,}92^2 + (3{,}81+1)^2 - 2 \cdot 4{,}92 \cdot (3{,}81+1) \cdot 0} = 6{,}88;$$

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

$$= \sqrt{4{,}92^2 + (3{,}81-1)^2 - 2 \cdot 4{,}92 \cdot (3{,}81-1) \cdot 0} = 5{,}67;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (3{,}81^2 - 1) \cdot 1^2} = 3{,}81;$$

$$D = \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{3{,}81-1}{3{,}81+1}} = 0{,}76;$$

$$E = \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{4{,}92 \cdot 1}{3{,}81 - 4{,}92 \cdot 0} = 1{,}29;$$

$$F = \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{3{,}81^2 - 1} = 3{,}68;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right.$$
$$\left. \times \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] \right\} =$$
$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -1{,}29 \cdot \arctan(0{,}76) + 1{,}29 \cdot \left[\frac{4{,}92^2 + (3{,}81+1)^2 - 2 \cdot 3{,}81 \cdot (1 + 4{,}92 \cdot 0)}{6{,}88 \cdot 5{,}67} \right] \times \right.$$
$$\left. \times \arctan\left(\frac{6{,}88 \cdot 0{,}76}{5{,}67}\right) + \frac{1}{3{,}81} \cdot \left[\arctan\left(\frac{4{,}92 \cdot 3{,}81 - 3{,}68^2 \cdot 0}{3{,}68 \cdot 3{,}81}\right) + \arctan\left(\frac{3{,}68^2 \cdot 0}{3{,}68 \cdot 3{,}81}\right) \right] \right\} =$$
$$= 0{,}123.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right.$$
$$\left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b + 1 + a \cdot b \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} =$$
$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0{,}76}\right) + \frac{0}{3{,}81} \cdot \left[\arctan\left(\frac{4{,}92 \cdot 3{,}81 - 3{,}68^2 \cdot 0}{3{,}68 \cdot 3{,}81}\right) + \arctan\left(\frac{3{,}68^2 \cdot 0}{3{,}68 \cdot 3{,}81}\right) \right] - \right.$$
$$\left. - \left[\frac{4{,}92^2 + (3{,}81+1)^2 - 2 \cdot (3{,}81 + 1 + 4{,}92 \cdot 3{,}81 \cdot 0)}{6{,}88 \cdot 5{,}67} \right] \cdot \arctan\left(\frac{6{,}88 \cdot 0{,}76}{5{,}67}\right) \right\} =$$
$$= 0{,}062.$$

Угловой коэффициент облученности: $F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0{,}015 + 0{,}004} = 0{,}137$.

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0{,}5 \cdot d)\right) = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 0{,}5 \cdot 10{,}5)\right) = 0{,}99.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$E_f = \frac{0{,}4 \cdot m' \cdot H_{\text{СГ}}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)} = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}11 \cdot 42{,}266 \cdot 1000}{\left(1 + 4 \cdot \frac{25{,}8}{10{,}5}\right)} = 171{,}6 \text{ кВт/м}^2.$$

Интенсивность теплового излучения: $q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 171{,}6 \cdot 0{,}137 \cdot 0{,}99 = 23{,}34$ кВт/м².

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Параметр u_*:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\text{П}}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0{,}11 \cdot 9{,}81 \cdot 10{,}5}{2{,}693}}} = 2{,}48.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos\theta = u_*^{-0{,}5} = 2{,}48^{-0{,}5} = 0{,}635;$$
$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0{,}635^2} = 0{,}772.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0{,}67} \cdot u_*^{-0{,}21} = 55 \cdot 10{,}5 \cdot \left(\frac{0{,}11}{1{,}14 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 10{,}5}}\right)^{0{,}67} \cdot 2{,}48^{-0{,}21} = 21{,}1 \text{ м}.$$

Расстояние от геометрического центра пожара до облучаемого объекта: 20 м.

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 21{,}1}{10{,}5} = 4{,}03;\ b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 20}{10{,}5} = 3{,}81;$$

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

$$= \sqrt{4{,}03^2 + (3{,}81+1)^2 - 2 \cdot 4{,}03 \cdot (3{,}81+1) \cdot 0{,}772} = 3{,}07;$$

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

$$= \sqrt{4{,}03^2 + (3{,}81-1)^2 - 2 \cdot 4{,}03 \cdot (3{,}81-1) \cdot 0{,}772} = 2{,}58;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2-1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (3{,}81^2 - 1) \cdot 0{,}635^2} = 2{,}54;$$

$$D = \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{3{,}81-1}{3{,}81+1}} = 0{,}76;$$

$$E = \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{4{,}03 \cdot 0{,}635}{3{,}81 - 4{,}03 \cdot 0{,}772} = 3{,}66;$$

$$F = \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{3{,}81^2 - 1} = 3{,}68;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

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

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -3{,}66 \cdot \arctan(0{,}76) + 3{,}66 \cdot \left[\frac{4{,}03^2 + (3{,}81+1)^2 - 2 \cdot 3{,}81 \cdot (1 + 4{,}03 \cdot 0{,}772)}{3{,}07 \cdot 2{,}58} \right] \times \right.$$

$$\left. \times \arctan\left(\frac{3{,}07 \cdot 0{,}76}{2{,}58}\right) + \frac{0{,}635}{2{,}54} \cdot \left[\arctan\left(\frac{4{,}03 \cdot 3{,}81 - 3{,}68^2 \cdot 0{,}772}{3{,}68 \cdot 2{,}54}\right) + \arctan\left(\frac{3{,}68^2 \cdot 0{,}772}{3{,}68 \cdot 2{,}54}\right) \right] \right\} =$$

$$= 0{,}219.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right.$$

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0{,}76}\right) + \frac{0{,}772}{2{,}54} \cdot \left[\arctan\left(\frac{4{,}03 \cdot 3{,}81 - 3{,}68^2 \cdot 0{,}772}{3{,}68 \cdot 2{,}54}\right) + \arctan\left(\frac{3{,}68^2 \cdot 0{,}772}{3{,}68 \cdot 2{,}54}\right) \right] - \right.$$

$$\left. - \left[\frac{4{,}03^2 + (3{,}81+1)^2 - 2 \cdot (3{,}81 + 1 + 4{,}03 \cdot 3{,}81 \cdot 0{,}772)}{3{,}07 \cdot 2{,}58} \right] \cdot \arctan\left(\frac{3{,}07 \cdot 0{,}76}{2{,}58}\right) \right\} =$$

$$= 0{,}241.$$

Угловой коэффициент облученности: $F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0{,}048 + 0{,}058} = 0{,}326.$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0{,}5 \cdot d)\right) = \exp\left(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 0{,}5 \cdot 10{,}5)\right) = 0{,}99.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$E_f = \frac{0{,}4 \cdot m' \cdot H_{\text{СГ}}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)} = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}11 \cdot 42{,}266 \cdot 1000}{\left(1 + 4 \cdot \frac{21{,}1}{10{,}5}\right)} = 205{,}4 \text{ кВт/м}^2.$$

Интенсивность теплового излучения: $q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 205{,}4 \cdot 0{,}326 \cdot 0{,}99 = 66{,}27$ кВт/м².

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара при штиле.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение (4 кВт/м²) составляет:

$$x = r_4 - r' = 53{,}7 - 20 = 33{,}7 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{33{,}7}{5} = 11{,}7 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(t \cdot q^{4/3}\right) = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(11{,}7 \cdot 23{,}34^{4/3}\right) = 4{,}258.$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{4{,}258-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0{,}229164.$$

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара при ветре 4 м/с.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение (4 кВт/м²) составляет:

$$x = r_4 - r' = 56{,}4 - 20 = 36{,}4 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{36{,}4}{5} = 12{,}3 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(t \cdot q^{4/3}\right) = -12{,}8 + 2{,}56 \cdot \ln\left(12{,}3 \cdot 66{,}27^{4/3}\right) = 7{,}936.$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{7{,}936-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0{,}998339.$$

12.2. Графические материалы

...

12.3. Документы, подтверждающие наличие на объекте защиты систем противопожарной защиты и их соответствие требованиям нормативных документов по пожарной безопасности

...

12.4. Документы, подтверждающие наличие мер по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска

...

12.5. Документы на программное обеспечение расчета риска

Сертификат соответствия:



СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ АРТАЛИКС

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ARTALIX

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.32311.ОС04.СС01.4929

Срок действия с 02.11.2024 по 01.11.2027

№ 0005819

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ

Орган по сертификации «Авалон» Общества с ограниченной ответственностью «Авалон». Место нахождения: 117216, город Москва, Куликовская ул, д. 9 к. 1, кв. 143. Телефон: +79034451952. Адрес электронной почты: onenkaprosm@yandex.ru. ОГРН: 1227700055032. Свидетельство об уполномочивании № ARTALIX.RU.32311.ОС04. Дата регистрации свидетельства: 02 сентября 2024 года.

ПРОДУКЦИЯ

Программный комплекс FireCat: PyroSim, Pathfinder, FireRisk, Fire Categories, Prom Risk, Fire Distance.
Серийный выпуск.

код ОК 034 (ОКПД2) 62.01.29

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000, ГОСТ Р ИСО 9127-94, ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93, «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности» (Приложение к приказу МЧС России от 14.11.2022 № 1140. Зарегистрировано в Минюсте России 20.03.2023 № 72633), «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Приложение к приказу МЧС России от 26.06.2024 № 533. Зарегистрировано в Минюсте России 02.09.2024 № 79360), СП 505.1311500.2021 «Расчет пожарного риска. Требования к оформлению», СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (в ред. Изменения № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643), СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» (в ред. приказов МЧС России от 14.02.2020 № 89, от 17.12.2021 № 880, от 30.12.2021 № 944, от 15.06.2022 № 610).

код ТН ВЭД

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

ИП Карькин Илья Николаевич. Адрес: 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Первомайская 66 - 4. ОГРН: 310667016000056. ИНН: 667008733913. Телефон: (343) 319-12-62. Адрес электронной почты: mail@pyrosim.ru.

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

ИП Карькин Илья Николаевич. Адрес: 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Первомайская 66 - 4. ОГРН: 310667016000056. ИНН: 667008733913. Телефон: (343) 319-12-62. Адрес электронной почты: mail@pyrosim.ru

НА ОСНОВАНИИ

Протокола испытаний № 32311.ИЛ04.СС16569 от 01.11.2024 года, выданного испытательной лабораторией Общества с ограниченной ответственностью «Авалон». Свидетельство об уполномочивании № ARTALIX.RU.32311.ИЛ04. Дата регистрации свидетельства: 02.09.2024 года

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации: 1с.

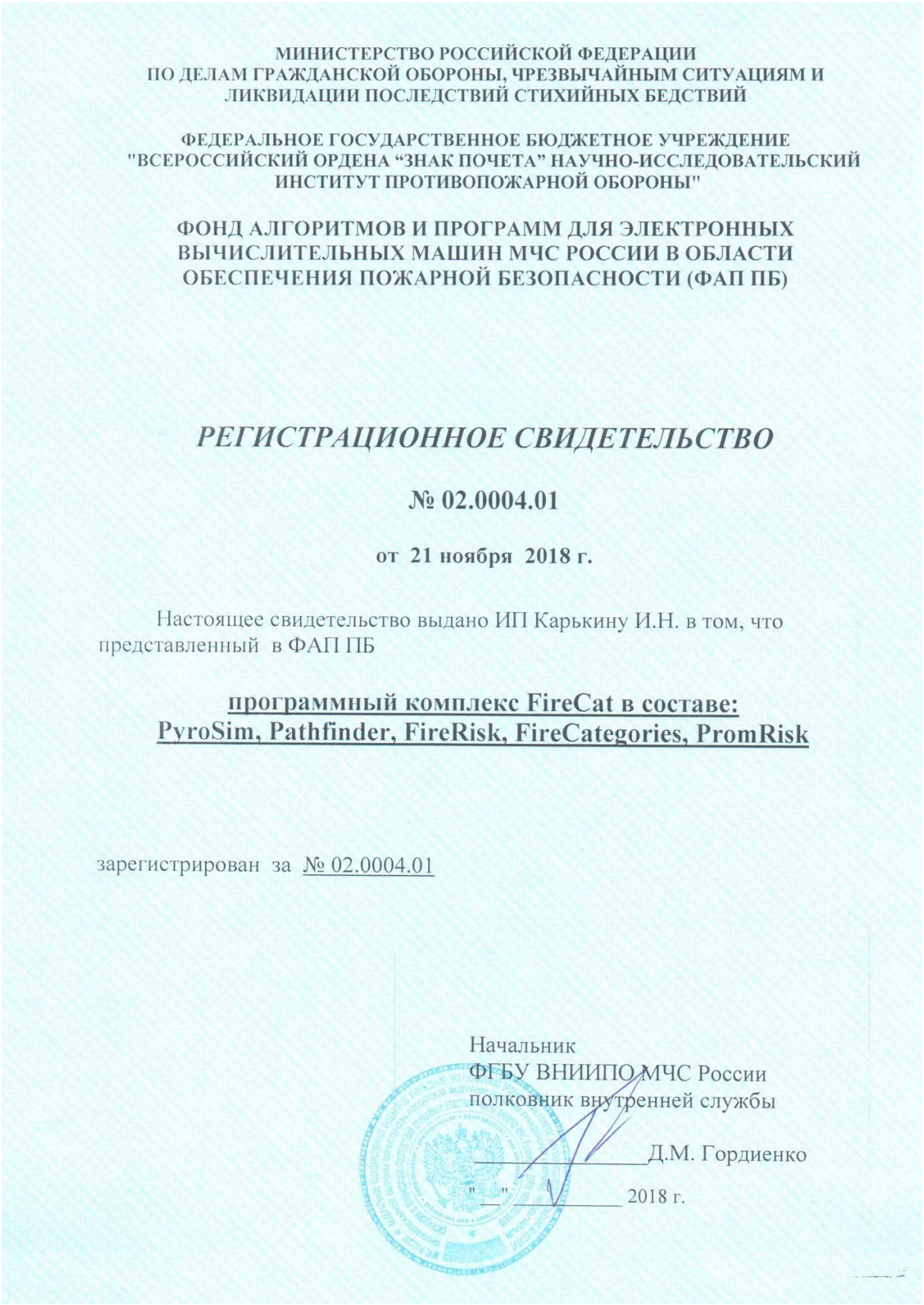
М.П.

Руководитель органа _____ (подпись) М.А. Сидоров (инициалы, фамилия)

Эксперт _____ (подпись) А.М. Мичурин (инициалы, фамилия)

Сертификат не применяется при обязательной сертификации

Регистрационное свидетельство ФАП ПБ:



МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И
ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"ВСЕРОССИЙСКИЙ ОРДЕНА "ЗНАК ПОЧЕТА" НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ"

ФОНД АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН МЧС РОССИИ В ОБЛАСТИ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (ФАП ПБ)

РЕГИСТРАЦИОННОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 02.0004.01

от 21 ноября 2018 г.

Настоящее свидетельство выдано ИП Карькину И.Н. в том, что представленный в ФАП ПБ

программный комплекс FireCat в составе:
PyroSim, Pathfinder, FireRisk, FireCategories, PromRisk

зарегистрирован за № 02.0004.01

Начальник
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
полковник внутренней службы
_____ Д.М. Гордиенко
"__" _____ 2018 г.

12.6. Расчет потенциального пожарного риска для здания «Производственное здание_01»

Величина потенциального пожарного риска в здании определена по формуле (4) Методики:

$$P = Q \cdot L,$$

где Q – частота реализации в течение года сценария пожара в здании;

L – условная вероятность поражения человека при его нахождении в помещении (здании) при реализации сценария пожара.

Частота возникновения пожара в здании составляет $0{,}022$ год$^{-1}$.

Вероятность эвакуации людей по эвакуационным путям из помещения (здания) определена по формуле (6) Методики:

$$E = \begin{cases} 0{,}999, & \text{при } t_{p.} + t_{\text{н.э.}} \le 0{,}8 \cdot t_{\text{бл.}} \\ \dfrac{0{,}8 \cdot t_{\text{бл.}} - t_{p.}}{t_{\text{н.э.}}}, & \text{при } t_{p.} < 0{,}8 \cdot t_{\text{бл.}} < t_{p.} + t_{\text{н.э.}} = 0{,}999, \\ 0{,}001, & \text{при } t_{p.} \ge 0{,}8 \cdot t_{\text{бл.}} \end{cases}$$

где $t_{\text{бл.}} = 90$ с – время блокирования эвакуационных путей;

$t_{\text{р.}} = 9$ с – расчетное время эвакуации людей из помещения (здания);

$t_{\text{н.э.}} = 30$ с – интервал времени от начала пожара до начала эвакуации людей.

Вероятность выхода людей, находящихся в помещении (здании), через аварийные или иные выходы при их отсутствии принимается равной 0,001.

Вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности помещения (здания) при пожаре

Параметр	Описание	Значение
$D_{\text{ауп}}$	Вероятность эффективной работы автоматических установок пожаротушения. Остальные случаи	0
$D_{\text{спс}}$	Вероятность эффективной работы системы пожарной сигнализации. Здание оборудовано системой, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности	0,8
$D_{\text{соуэ}}$	Вероятность эффективной работы системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Здание оборудовано системой, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности	0,8
$D_{\text{пдз}}$	Вероятность эффективной работы системы противодымной защиты. Остальные случаи	0

Зависимости срабатывания систем: АУП самостоятельно, СПДЗ и СОУЭ от СПС.

$$D = 1 - \left(1 - D_{\text{ауп}}\right) \cdot \left[1 - D_{\text{спс}} \cdot \left(1 - \left(1 - D_{\text{пдз}}\right) \cdot \left(1 - D_{\text{соуэ}}\right)\right)\right] =$$

$$= 1 - (1 - 0) \cdot [1 - 0{,}8 \cdot (1 - (1 - 0) \cdot (1 - 0{,}8)] = 0{,}64.$$

Условная вероятность поражения человека:

$$L = (1 - E) \cdot (1 - S) \cdot (1 - D) = (1 - 0{,}999) \cdot (1 - 0{,}001) \cdot (1 - 0{,}64) = 0{,}00036.$$

Величина потенциального пожарного риска в здании составляет $P = 0{,}022 \cdot 0{,}00036 = 7{,}912 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.