

Расчет величин пожарного риска складского комплекса (фрагменты)

Содержание

1. Введение.....	6
2. Анализ пожарной опасности объекта.....	7
2.1. Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов	7
2.2. Определение инициирующих пожароопасные ситуации событий и построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей	8
3. Определение перечня пожароопасных ситуаций и сценариев их развития	9
3.1. Ж/д цистерна (растворители)	9
3.2. Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей	9
3.3. Розлив растворителей 02 - секция_1	10
3.4. Розлив растворителей 01 - секция_1	10
3.5. Ж/д цистерна (сольвент)	10
3.6. Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)	11
3.7. PBC_01	11
3.8. PBC_02	12
3.9. Гибкое соединение автоцистерны	12
4. Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций	13
4.1. Ж/д цистерна (растворители)	13
4.1.1. Разгерметизация 25 мм	13
4.1.2. Разгерметизация 100 мм	13
4.1.3. Разрушение	14
4.1.4. Пожар по всей поверхности.....	15
4.2. Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей	16
4.2.1. Разгерметизация 5 мм.....	16
4.2.2. Разгерметизация 15 мм	16
4.2.3. Разрушение	16
4.3. Подземные резервуары	17
4.4. Подземные трубопроводы.....	17
4.5. Розлив растворителей 02 - секция_1.....	17
4.5.1. Разрыв линии топливоподачи	17
4.6. Подземные трубопроводы.....	18
4.7. Розлив растворителей 01 - секция_1.....	18
4.7.1. Разрыв линии топливоподачи	18
4.8. Ж/д цистерна (сольвент)	19
4.8.1. Разгерметизация 25 мм	19
4.8.2. Разгерметизация 100 мм	19
4.8.3. Разрушение	20
4.8.4. Пожар по всей поверхности.....	21
4.9. Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)	22
4.9.1. Разгерметизация 5 мм.....	22
4.9.2. Разгерметизация 15 мм	22
4.9.3. Разрушение	22
4.10. Насосная.....	23
4.11. Трубопровод PBC_01	23
4.12. PBC_01	23
4.12.1. Разгерметизация 25 мм.....	23

4.12.2.	Разгерметизация 100 мм	23
4.12.3.	Разрушение	24
4.12.4.	Пожар на дыхательной арматуре	25
4.12.5.	Пожар по всей поверхности	26
4.13.	Трубопровод РВС_02	26
4.14.	РВС_02	27
4.14.1.	Разгерметизация 25 мм	27
4.14.2.	Разгерметизация 100 мм	27
4.14.3.	Разрушение	27
4.14.4.	Пожар на дыхательной арматуре	27
4.14.5.	Пожар по всей поверхности	27
4.15.	Гибкое соединение автоцистерны	27
4.15.1.	Разгерметизация 5 мм	27
4.15.2.	Разгерметизация 15 мм	27
4.15.3.	Разрушение	27
5.	Построение полей опасных факторов пожара	29
5.1.	Ж/д цистерна (растворители)	29
5.1.1.	Разгерметизация 25 мм	29
5.1.2.	Разгерметизация 100 мм	29
5.1.3.	Разрушение	38
5.1.4.	Пожар по всей поверхности	48
5.2.	Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей	52
5.2.1.	Разгерметизация 5 мм	52
5.2.2.	Разгерметизация 15 мм	52
5.2.3.	Разрушение	52
5.3.	Розлив растворителей 02 - секция_1	61
5.3.1.	Разрыв линии топливоподачи	61
5.4.	Розлив растворителей 01 - секция_1	72
5.4.1.	Разрыв линии топливоподачи	72
5.5.	Ж/д цистерна (сольвент)	72
5.5.1.	Разгерметизация 25 мм	72
5.5.2.	Разгерметизация 100 мм	72
5.5.3.	Разрушение	72
5.5.4.	Пожар по всей поверхности	72
5.6.	Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)	72
5.6.1.	Разгерметизация 5 мм	72
5.6.2.	Разгерметизация 15 мм	72
5.6.3.	Разрушение	72
5.7.	РВС_01	72
5.7.1.	Разгерметизация 25 мм	72
5.7.2.	Разгерметизация 100 мм	82
5.7.3.	Разрушение	92
5.7.4.	Пожар на дыхательной арматуре	102
5.7.5.	Пожар по всей поверхности	105
5.8.	РВС_02	109
5.8.1.	Разгерметизация 25 мм	109
5.8.2.	Разгерметизация 100 мм	109
5.8.3.	Разрушение	109
5.8.4.	Пожар на дыхательной арматуре	109

5.8.5.	Пожар по всей поверхности.....	109
5.9.	Гибкое соединение автоцистерны	109
5.9.1.	Разгерметизация 5 мм.....	109
5.9.2.	Разгерметизация 15 мм	118
5.9.3.	Разрушение	128
6.	Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей.....	139
6.1.	Ж/д цистерна (растворители)	139
6.1.1.	Разгерметизация 25 мм	139
6.1.2.	Разгерметизация 100 мм	143
6.1.3.	Разрушение	147
6.1.4.	Пожар по всей поверхности.....	151
6.2.	Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей	153
6.2.1.	Разгерметизация 5 мм.....	153
6.2.2.	Разгерметизация 15 мм	157
6.2.3.	Разрушение	161
6.3.	Розлив растворителей 02 - секция_1.....	165
6.3.1.	Разрыв линии топливоподачи	165
6.4.	Розлив растворителей 01 - секция_1.....	169
6.4.1.	Разрыв линии топливоподачи	169
6.5.	Ж/д цистерна (сольвент)	173
6.5.1.	Разгерметизация 25 мм	173
6.5.2.	Разгерметизация 100 мм	177
6.5.3.	Разрушение	181
6.5.4.	Пожар по всей поверхности.....	185
6.6.	Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)	187
6.6.1.	Разгерметизация 5 мм.....	187
6.6.2.	Разгерметизация 15 мм	191
6.6.3.	Разрушение	195
6.7.	PVC_01	199
6.7.1.	Разгерметизация 25 мм	199
6.7.2.	Разгерметизация 100 мм	203
6.7.3.	Разрушение	207
6.7.4.	Пожар на дыхательной арматуре.....	211
6.7.5.	Пожар по всей поверхности.....	213
6.8.	PVC_02	214
6.8.1.	Разгерметизация 25 мм	214
6.8.2.	Разгерметизация 100 мм	218
6.8.3.	Разрушение	222
6.8.4.	Пожар на дыхательной арматуре.....	226
6.8.5.	Пожар по всей поверхности.....	228
6.9.	Гибкое соединение автоцистерны	230
6.9.1.	Разгерметизация 5 мм.....	230
6.9.2.	Разгерметизация 15 мм	234
6.9.3.	Разрушение	238
7.	Вычисление расчетных величин пожарного риска	243
7.1.	Потенциальный риск на территории объекта и в селитебной зоне	243
7.1.1.	Потенциальный риск от оборудования объекта	243
7.1.2.	Потенциальный пожарный риск в зданиях объекта	248
7.2.	Индивидуальный пожарный риск	250

7.2.1.	Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта.....	251
7.2.2.	Индивидуальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта	252
7.3.	Социальный пожарный риск.....	253
8.	Вывод.....	254
9.	Литература.....	255

1. Введение

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

Таким образом, для проверки обеспечения пожарной безопасности необходимо провести расчет и оценку пожарного риска. Если величина пожарного риска не превысит нормативное значение, то пожарная безопасность объекта считается обеспеченной. Если риск окажется сверхнормативным, необходимо будет разрабатывать дополнительные противопожарные мероприятия по снижению его величины.

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

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

- 1) проведен анализ пожарной опасности объекта, выявлены наиболее неблагоприятные сценарии возникновения и развития пожароопасных ситуаций;
- 2) выбраны методы прогноза неблагоприятных последствий при авариях;
- 3) проведен прогноз неблагоприятных последствий и оценка опасности для людей;
- 4) рассчитаны значения пожарного риска.

Методы исследования. Расчет величины пожарного риска проводился в соответствии с порядком, определенным постановлением Правительства РФ «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [2], по алгоритмам, изложенным в методике [3].

2. Анализ пожарной опасности объекта

2.1. Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов



Общий вид модели

2.2. 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 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 автомобиле.

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. При мгновенном воспламенении вышедшего горючего продукта возникает пожар пролива.

5. При отсутствии мгновенного воспламенения вышедшего горючего продукта происходит испарение жидкости с поверхности пролива с возможностью образования взрывоопасного паровоздушного облака. Принимается, что испарение ЛВЖ с поверхности пролива приводит к образованию взрывоопасного паровоздушного облака только в случае безветрия (штиля).

6. Последующее воспламенение, если отсутствует мгновенное воспламенение, приводит к взрыву образовавшегося паровоздушного облака или его сгоранию в режиме пожара-вспышки. Последующее воспламенение при условии отсутствия мгновенного воспламенения и наличии ветра приводит к пожару пролива.

7. Воздействие на резервуары парка пожара-вспышки и взрыва паровоздушного облака с возможностью дальнейшей эскалации пожара не рассматриваются, поскольку зоны поражения от первичных пожаров (взрыв или пожар-вспышка) шире зон поражения от возможных вторичных пожаров.

3. 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] и приложением 2 [4].

3.1. Ж/д цистерна (растворители)

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации	Частота возникновения, год ⁻¹
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$7,5 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 25 мм	Взрыв ТВС	$3,694 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар-вспышка	$7,018 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$6,649 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива	$7,5 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 100 мм	Взрыв ТВС	$3,694 \cdot 10^{-9}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар-вспышка	$7,018 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива	$6,649 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Пожар пролива	$4 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Взрыв ТВС	$4,636 \cdot 10^{-9}$
Разрушение	Пожар-вспышка	$4,172 \cdot 10^{-8}$
Разрушение	Пожар пролива	$4,172 \cdot 10^{-7}$
Пожар по всей поверхности	Пожар по всей поверхности	$9 \cdot 10^{-5}$

3.2. Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации	Частота возникновения, год ⁻¹
Разгерметизация 5 мм	Пожар пролива	$3,38 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 5 мм	Взрыв ТВС	$1,682 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 5 мм	Пожар-вспышка	$3,195 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 5 мм	Пожар пролива	$3,027 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар пролива	$2,6 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 15 мм	Взрыв ТВС	$1,294 \cdot 10^{-9}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар-вспышка	$2,458 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар пролива	$2,328 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Пожар пролива	$1,04 \cdot 10^{-4}$
Разрушение	Взрыв ТВС	$1,205 \cdot 10^{-6}$
Разрушение	Пожар-вспышка	$1,085 \cdot 10^{-5}$
Разрушение	Пожар пролива	$1,085 \cdot 10^{-4}$

3.3. Розлив растворителей 02 - секция_1

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации	развития	Частота возникновения, год ⁻¹
Разрыв линии топливоподачи	Пожар пролива		$7,5 \cdot 10^{-4}$
Разрыв топливоподачи	линии	Взрыв ТВС	$8,693 \cdot 10^{-6}$
Разрыв топливоподачи	линии	Пожар-вспышка	$7,823 \cdot 10^{-5}$
Разрыв топливоподачи	линии	Пожар пролива	$7,823 \cdot 10^{-4}$

3.4. Розлив растворителей 01 - секция_1

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации	развития	Частота возникновения, год ⁻¹
Разрыв линии топливоподачи	Пожар пролива		$7,5 \cdot 10^{-4}$
Разрыв топливоподачи	линии	Взрыв ТВС	$8,693 \cdot 10^{-6}$
Разрыв топливоподачи	линии	Пожар-вспышка	$7,823 \cdot 10^{-5}$
Разрыв топливоподачи	линии	Пожар пролива	$7,823 \cdot 10^{-4}$

3.5. Ж/д цистерна (сольвент)

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации	развития	Частота возникновения, год ⁻¹
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива		$7,5 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 25 мм	Взрыв ТВС		$3,694 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар-вспышка		$7,018 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива		$6,649 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива		$7,5 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 100 мм	Взрыв ТВС		$3,694 \cdot 10^{-9}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар-вспышка		$7,018 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива		$6,649 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Пожар пролива		$4 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Взрыв ТВС		$4,636 \cdot 10^{-9}$
Разрушение	Пожар-вспышка		$4,172 \cdot 10^{-8}$

Разрушение	Пожар пролива	$4,172 \cdot 10^{-7}$
Пожар по всей поверхности	Пожар по всей поверхности	$9 \cdot 10^{-5}$

3.6. Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации развития	Частота возникновения, год ⁻¹
Разгерметизация 5 мм	Пожар пролива	$1,3 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 5 мм	Взрыв ТВС	$6,468 \cdot 10^{-10}$
Разгерметизация 5 мм	Пожар-вспышка	$1,229 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 5 мм	Пожар пролива	$1,164 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар пролива	$1 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 15 мм	Взрыв ТВС	$4,975 \cdot 10^{-11}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар-вспышка	$9,453 \cdot 10^{-10}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар пролива	$8,955 \cdot 10^{-9}$
Разрушение	Пожар пролива	$4 \cdot 10^{-6}$
Разрушение	Взрыв ТВС	$4,636 \cdot 10^{-8}$
Разрушение	Пожар-вспышка	$4,172 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Пожар пролива	$4,172 \cdot 10^{-6}$

3.7. РВС_01

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации развития	Частота возникновения, год ⁻¹
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$7,5 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 25 мм	Взрыв ТВС	$3,694 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар-вспышка	$7,018 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$6,649 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива	$2 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 100 мм	Взрыв ТВС	$1,008 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар-вспышка	$1,915 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива	$1,814 \cdot 10^{-6}$
Разрушение	Пожар пролива	$4 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Взрыв ТВС	$4,636 \cdot 10^{-9}$
Разрушение	Пожар-вспышка	$4,172 \cdot 10^{-8}$
Разрушение	Пожар пролива	$4,172 \cdot 10^{-7}$
Пожар на дыхательной арматуре	Пожар на дыхательной арматуре	$9 \cdot 10^{-5}$
Пожар по всей поверхности	Пожар по всей поверхности	$9 \cdot 10^{-5}$

3.8. PBC_02

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации развития	Частота возникновения, год ⁻¹
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$7,5 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 25 мм	Взрыв ТВС	$3,694 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар-вспышка	$7,018 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$6,649 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива	$2 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 100 мм	Взрыв ТВС	$1,008 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар-вспышка	$1,915 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 100 мм	Пожар пролива	$1,814 \cdot 10^{-6}$
Разрушение	Пожар пролива	$4 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Взрыв ТВС	$4,636 \cdot 10^{-9}$
Разрушение	Пожар-вспышка	$4,172 \cdot 10^{-8}$
Разрушение	Пожар пролива	$4,172 \cdot 10^{-7}$
Пожар на дыхательной арматуре	Пожар на дыхательной арматуре	$9 \cdot 10^{-5}$
Пожар по всей поверхности	Пожар по всей поверхности	$9 \cdot 10^{-5}$

3.9. Гибкое соединение автоцистерны

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	Сценарий пожароопасной ситуации развития	Частота возникновения, год ⁻¹
Разгерметизация 5 мм	Пожар пролива	$3,38 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 5 мм	Взрыв ТВС	$1,682 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 5 мм	Пожар-вспышка	$3,195 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 5 мм	Пожар пролива	$3,027 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар пролива	$2,6 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 15 мм	Взрыв ТВС	$1,294 \cdot 10^{-9}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар-вспышка	$2,458 \cdot 10^{-8}$
Разгерметизация 15 мм	Пожар пролива	$2,328 \cdot 10^{-7}$
Разрушение	Пожар пролива	$1,04 \cdot 10^{-4}$
Разрушение	Взрыв ТВС	$1,205 \cdot 10^{-6}$
Разрушение	Пожар-вспышка	$1,085 \cdot 10^{-5}$
Разрушение	Пожар пролива	$1,085 \cdot 10^{-4}$

Более подробный расчет частоты возникновения опасных факторов пожара и логические деревья событий, в соответствии с которыми производился расчет, приведены в главе "Построение полей опасных факторов пожара".

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

4.1. Ж/д цистерна (растворители)

4.1.1. Разгерметизация 25 мм

4.1.2. Разгерметизация 100 мм

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

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,8} = 0,0407 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0407 \cdot 867 = 35,329 \text{ кг/с}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{\text{ж}} = 0,0407 \cdot 3600 = 0,0407 \cdot 3600 = 146,696 \text{ м}^3.$$

Объем вылившейся жидкости не может превышать объем емкости.

Таким образом, объем вылившейся жидкости составит 70 м³.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{п}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 70 = 1400 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 1400 м².

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 70 \cdot 867 = 60690 \text{ кг}.$$

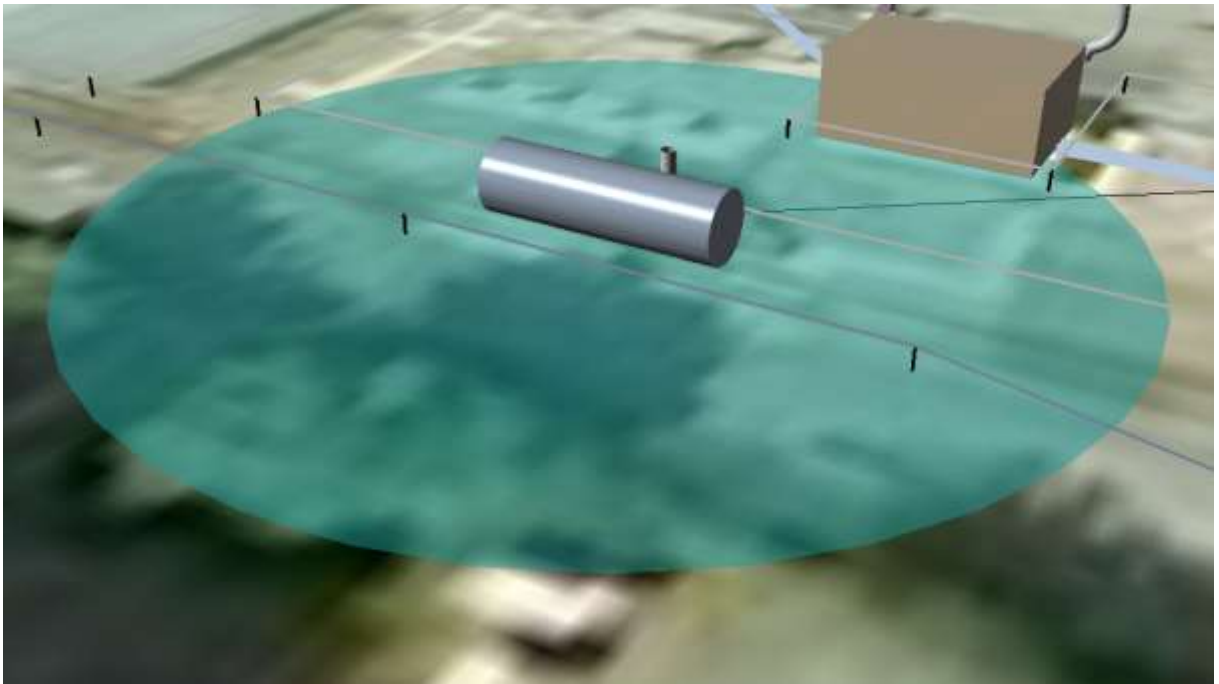
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_{\text{н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{п}} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 1400 \cdot 3600 = 69,88 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

4.1.3. Разрушение

Частота возникновения: $8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Объем вылившейся жидкости принимается равным объему емкости: $V_{\text{ж}} = 70 \text{ м}^3$.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{П}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 70 = 1400 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 1400 м^2 .

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 70 \cdot 867 = 60690 \text{ кг}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с .

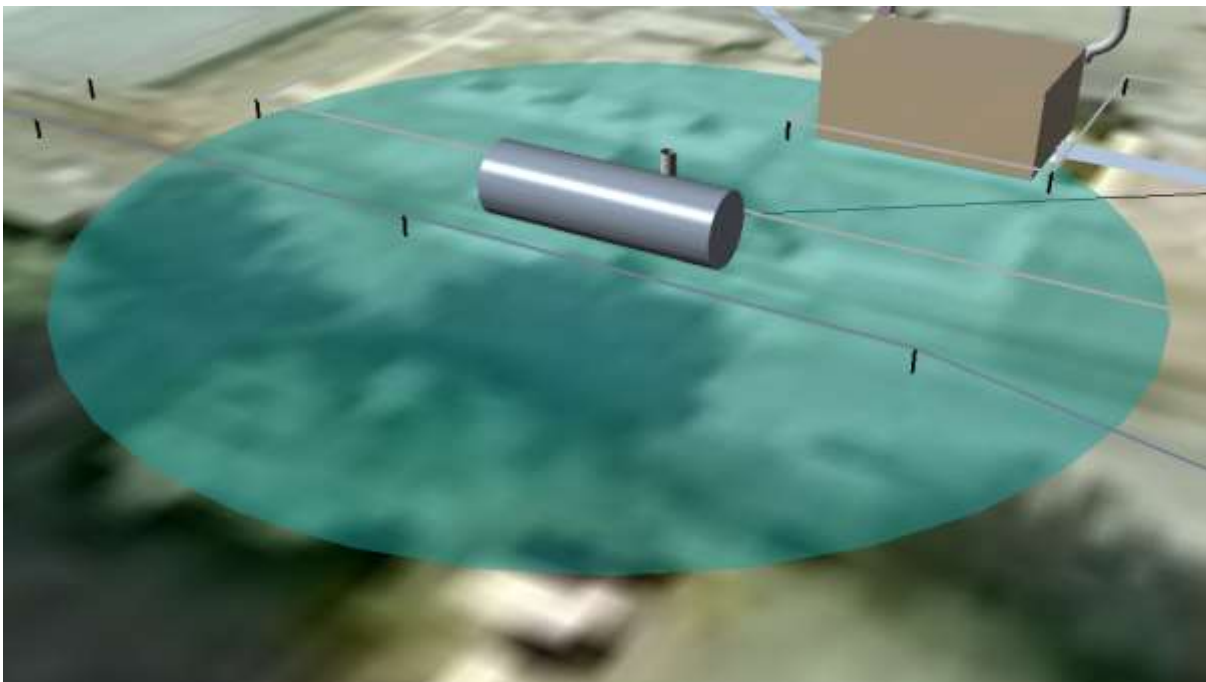
Давление насыщенных паров при температуре 36 °C составляет $P_{\text{Н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{Н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

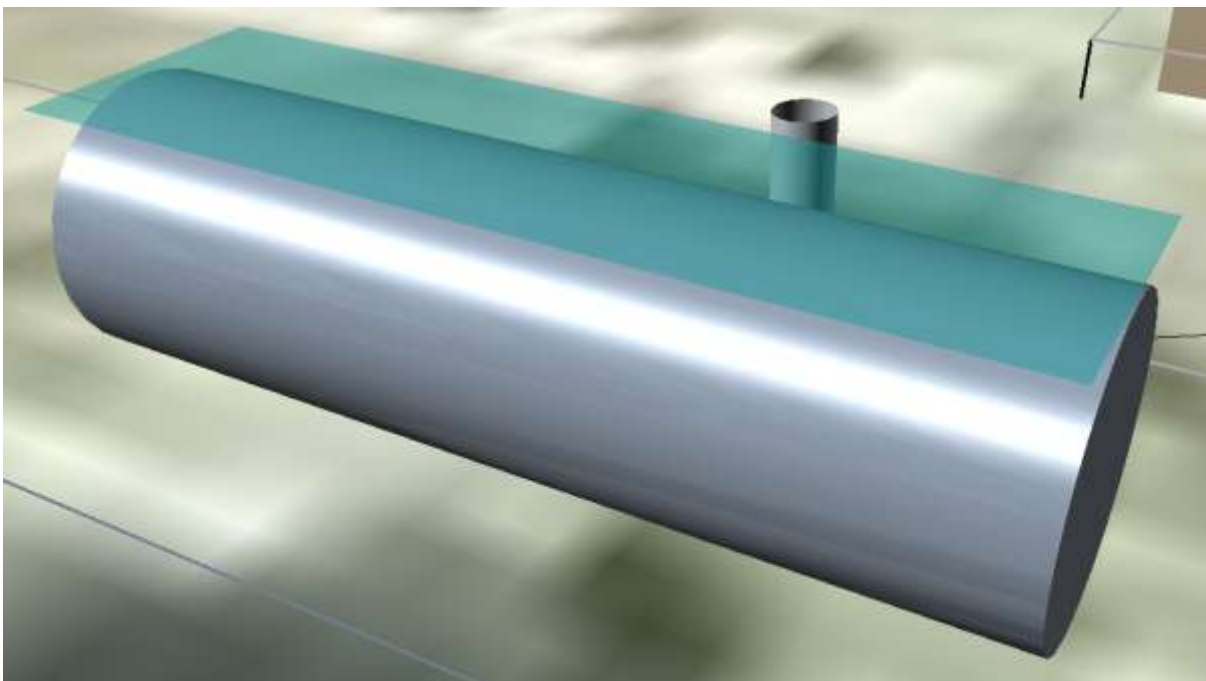
$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{П}} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 1400 \cdot 3600 = 69,88 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

4.1.4. Пожар по всей поверхности

Площадь пожара принимается равной площади резервуара и составляет 31,7 м².



Площадь пожара

4.2. Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей

4.2.1. Разгерметизация 5 мм

4.2.2. Разгерметизация 15 мм

4.2.3. Разрушение

Частота возникновения: $4 \cdot 10^{-5} \cdot 52 = 2,08 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 125^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,0659 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0659 \cdot 867 = 57,14 \text{ кг/с}.$$

Объем вылившейся за 300 с жидкости:

$$V_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot 300 = 0,0659 \cdot 300 = 19,771 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{П}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 19,771 = 395,4 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 395,4 м².

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 19,771 \cdot 867 = 17141,9 \text{ кг}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

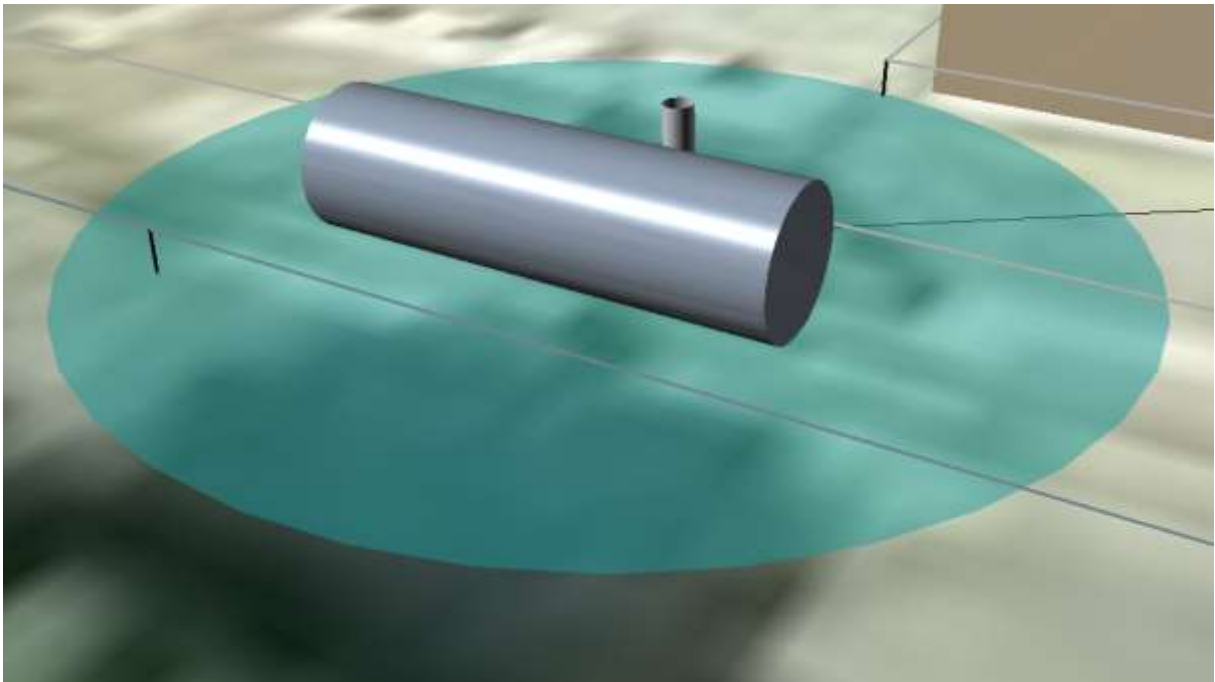
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_{\text{Н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{Н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{П}} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 395,4 \cdot 3600 = 19,738 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

4.3. Подземные резервуары

Иницирующие аварийные события не предусмотрены.

4.4. Подземные трубопроводы

Иницирующие аварийные события не предусмотрены.

4.5. Розлив растворителей 02 - секция_1

4.5.1. Разрыв линии топливоподачи

Частота возникновения [7, табл. 8.12]: $0,015 \text{ год}^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = Q_{\text{ТРК}} = 50 \cdot 0,001/60 = 0,0008 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0008 \cdot 867 = 0,723 \text{ кг/с}.$$

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot 300 = 0,0008 \cdot 300 = 0,25 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{П}} = f_{\text{Р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 0,25 = 5 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 5 м^2 .

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,25 \cdot 867 = 216,8 \text{ кг}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

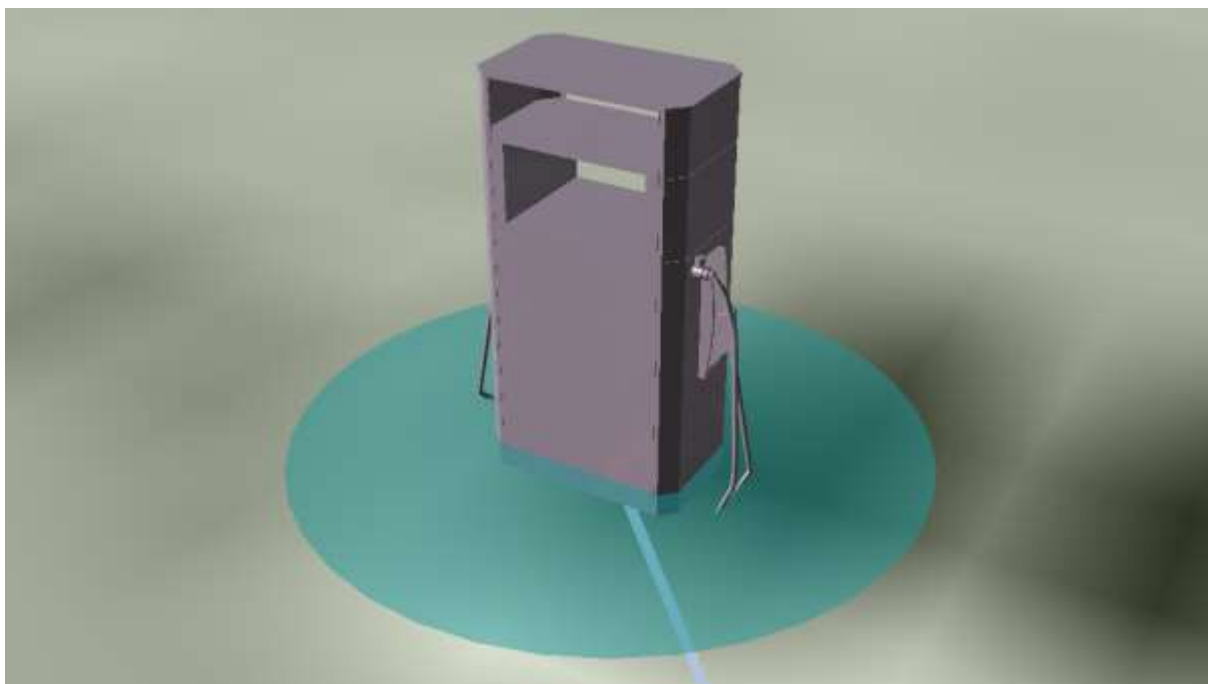
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_H = 1,303$ кПа.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\Pi} = W \cdot F_{\Pi} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 5 \cdot 3600 = 0,25 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

4.6. Подземные трубопроводы

Иницирующие аварийные события не предусмотрены.

4.7. Розлив растворителей 01 - секция_1

4.7.1. Разрыв линии топливоподдачи

Частота возникновения [7, табл. 8.12]: $0,015 \text{ год}^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = Q_{\text{ТРК}} = 50 \cdot 0,001/60 = 0,0008 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0008 \cdot 867 = 0,723 \text{ кг}/\text{с}.$$

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot 300 = 0,0008 \cdot 300 = 0,25 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\Pi} = f_p \cdot V_{ж} = 20 \cdot 0,25 = 5 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 5 м².

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{ж} = V_{ж} \cdot \rho_{ж} = 0,25 \cdot 867 = 216,8 \text{ кг.}$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

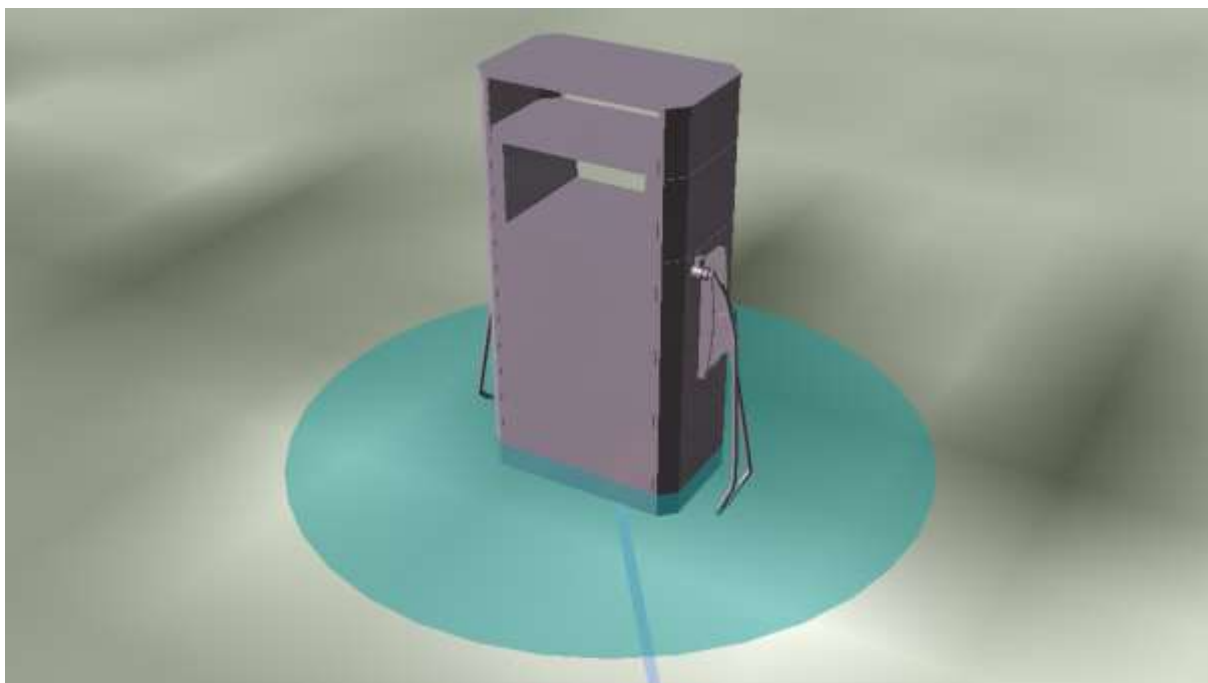
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_H = 1,303$ кПа.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\Pi} = W \cdot F_{\Pi} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 5 \cdot 3600 = 0,25 \text{ кг.}$$



Поверхность пролива

4.8. Ж/д цистерна (сольвент)

4.8.1. Разгерметизация 25 мм

4.8.2. Разгерметизация 100 мм

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

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{ж} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{ж}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,8} = 0,0407 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{ж} = Q_{ж} \cdot \rho_{ж} = 0,0407 \cdot 867 = 35,329 \text{ кг/с.}$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{\text{ж}} = 0,0407 \cdot 3600 = 0,0407 \cdot 3600 = 146,696 \text{ м}^3.$$

Объем вылившейся жидкости не может превышать объем емкости.

Таким образом, объем вылившейся жидкости составит 70 м³.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{п}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 70 = 1400 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 1400 м².

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 70 \cdot 867 = 60690 \text{ кг}.$$

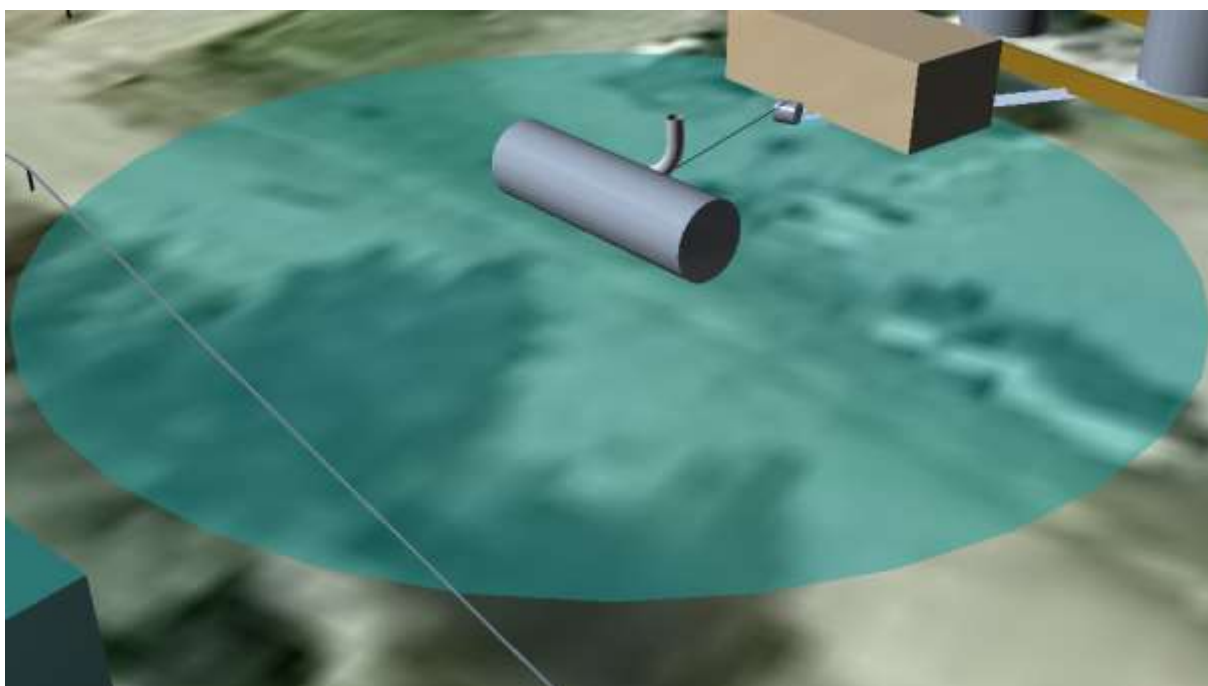
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_{\text{н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{п}} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 1400 \cdot 3600 = 69,88 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

4.8.3. Разрушение

Частота возникновения: $8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Объем вылившейся жидкости принимается равным объему емкости: $V_{\text{ж}} = 70 \text{ м}^3$.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\Pi} = f_p \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 70 = 1400 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 1400 м².

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 70 \cdot 867 = 60690 \text{ кг.}$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

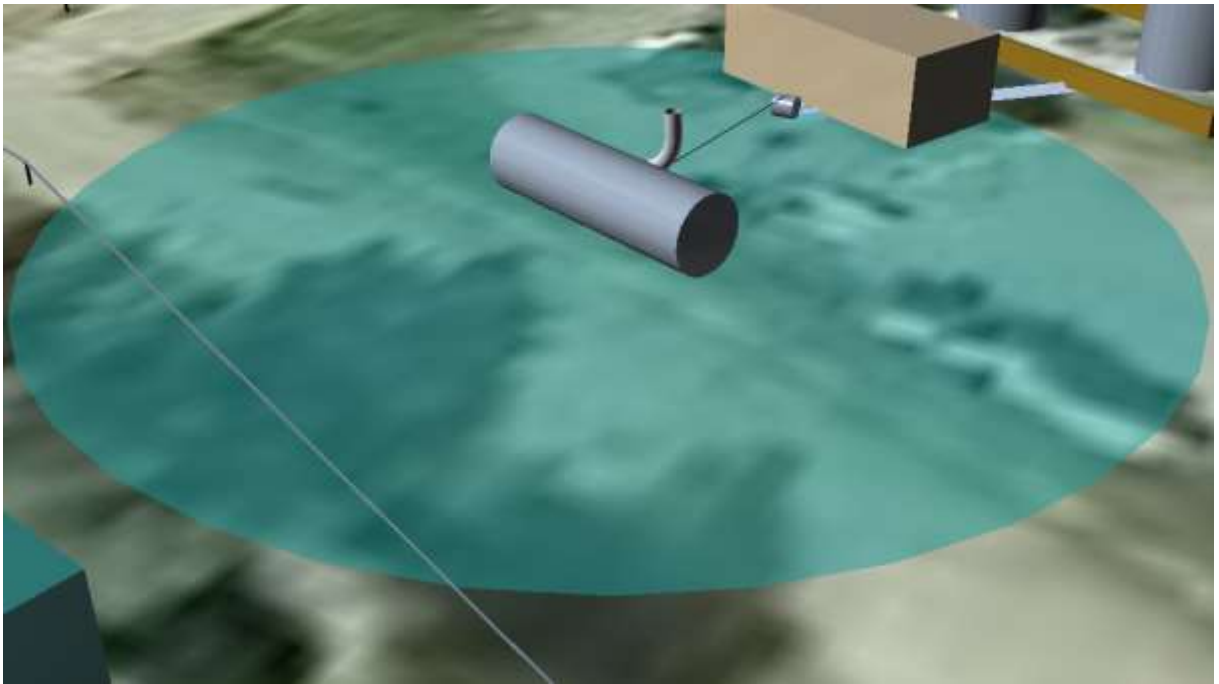
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_{\text{Н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{Н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

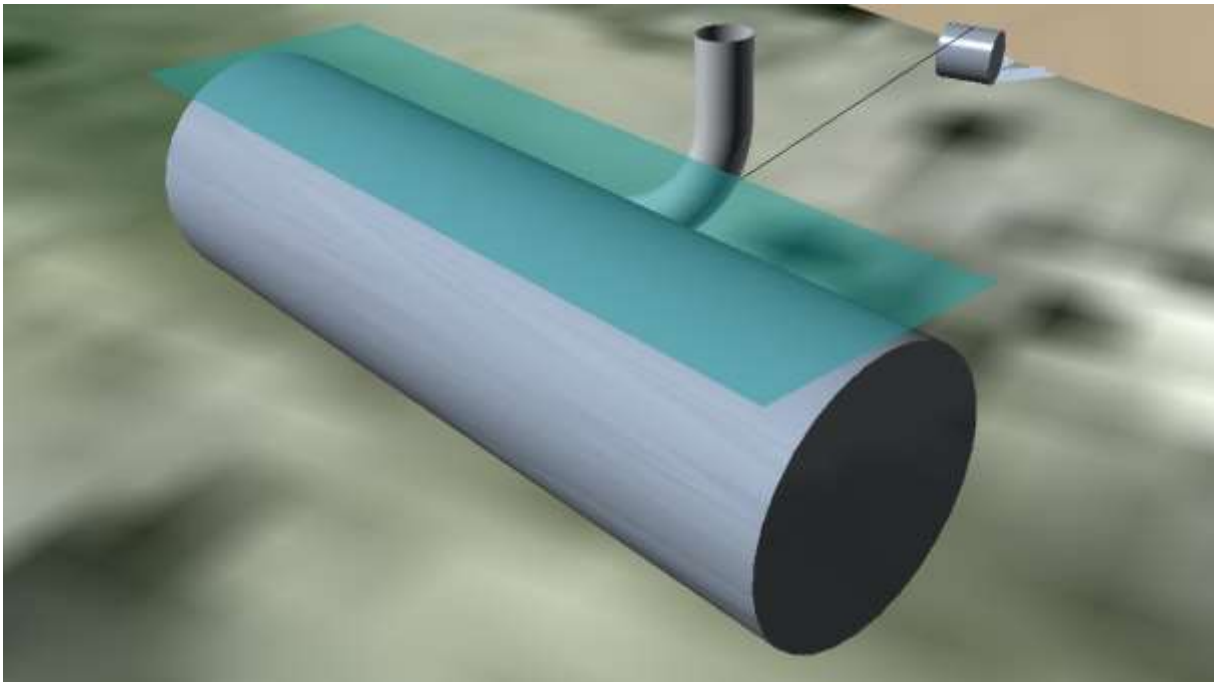
$$m_{\Pi} = W \cdot F_{\Pi} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 1400 \cdot 3600 = 69,88 \text{ кг.}$$



Поверхность пролива

4.8.4. Пожар по всей поверхности

Площадь пожара принимается равной площади резервуара и составляет 31,7 м².



Площадь пожара

4.9. Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)

4.9.1. Разгерметизация 5 мм

4.9.2. Разгерметизация 15 мм

4.9.3. Разрушение

Частота возникновения: $4 \cdot 10^{-5} \cdot 2 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 150^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,0949 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0949 \cdot 867 = 82,281 \text{ кг/с}.$$

Объем вылившейся за 300 с жидкости:

$$V_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot 300 = 0,0949 \cdot 300 = 28,471 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{П}} = f_{\text{Р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 28,471 = 569,4 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 569,4 м².

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 28,471 \cdot 867 = 24684,3 \text{ кг}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

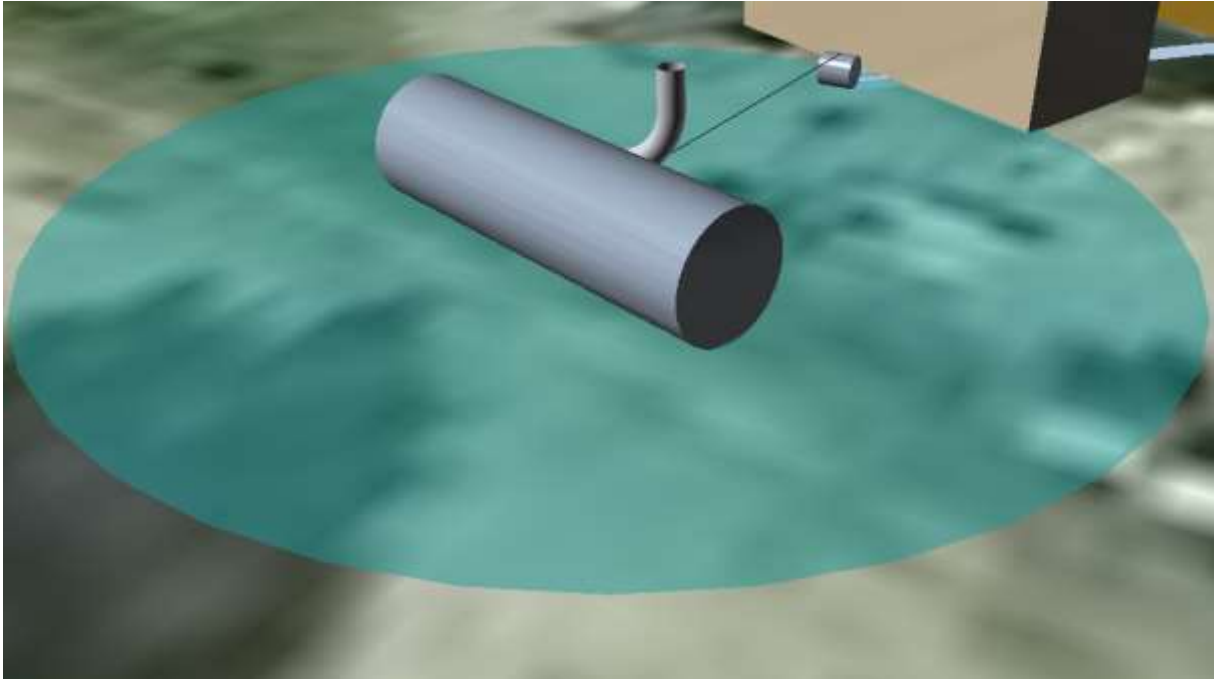
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_{\text{Н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\pi} = W \cdot F_{\pi} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 569,4 \cdot 3600 = 28,422 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

4.10. Насосная

Иницирующие аварийные события не предусмотрены.

4.11. Трубопровод РВС_01

Иницирующие аварийные события не предусмотрены.

4.12. РВС_01

4.12.1. Разгерметизация 25 мм

4.12.2. Разгерметизация 100 мм

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

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6} = 0,0597 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0597 \cdot 867 = 51,717 \text{ кг}/\text{с}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_{\text{ж}} = 0,0597 \cdot 3600 = 0,0597 \cdot 3600 = 214,741 \text{ м}^3.$$

Объем вылившейся жидкости не может превышать объем емкости.

Таким образом, объем вылившейся жидкости составит 100 м^3 .

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{п}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 100 = 2000 \text{ м}^2.$$

Площадь пролива ограничивается обвалованием и составляет 266 м^2 .

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 100 \cdot 867 = 86700 \text{ кг}.$$

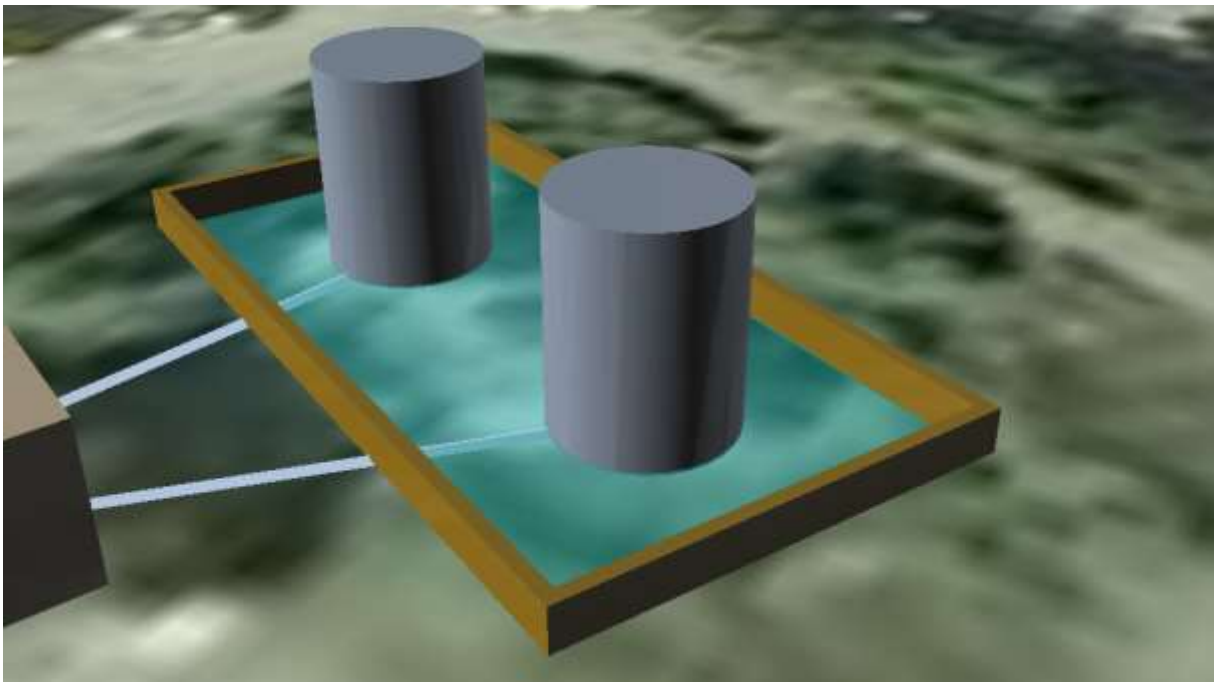
Давление насыщенных паров при температуре $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $P_{\text{н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{п}} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 266 \cdot 3600 = 13,277 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

4.12.3. Разрушение

Частота возникновения: $8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Объем вылившейся жидкости принимается равным объему емкости: $V_{\text{ж}} = 100 \text{ м}^3$.

Имеется обвалование. При высоте столба жидкости 6 м и высоте обвалования (ограждения) $1,2 \text{ м}$ доля жидкости, перелившейся через обвалование составит $0,47$.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{перелив.}} = V_{\text{ж}} \cdot 0,47 \cdot f_p = 100 \text{ м}^3 \cdot 0,47 \cdot 20 = 940 \text{ м}^2.$$

Площадь пролива составляет сумму площади обвалования и площади перелива:

$$F_{\Pi} = F_{\text{обв.}} + F_{\text{перелив.}} = 266 + 940 = 1206 \text{ м}^2.$$

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 100 \cdot 867 = 86700 \text{ кг.}$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

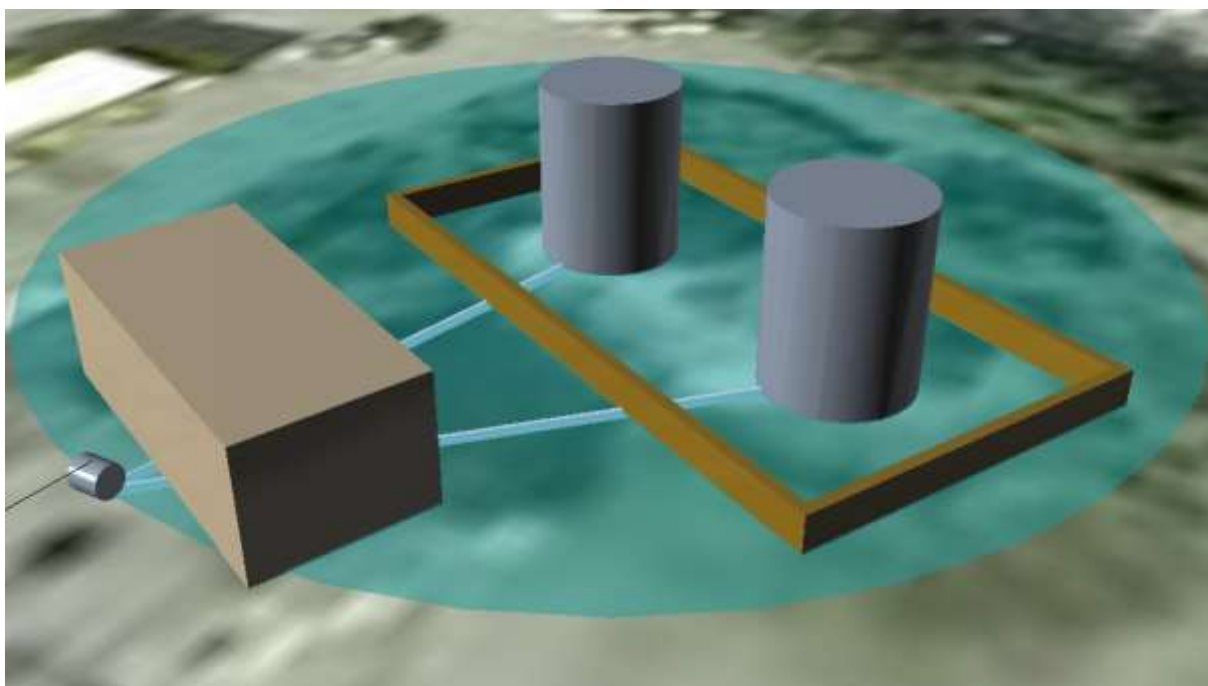
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_{\text{Н}} = 1,303$ кПа.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{Н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

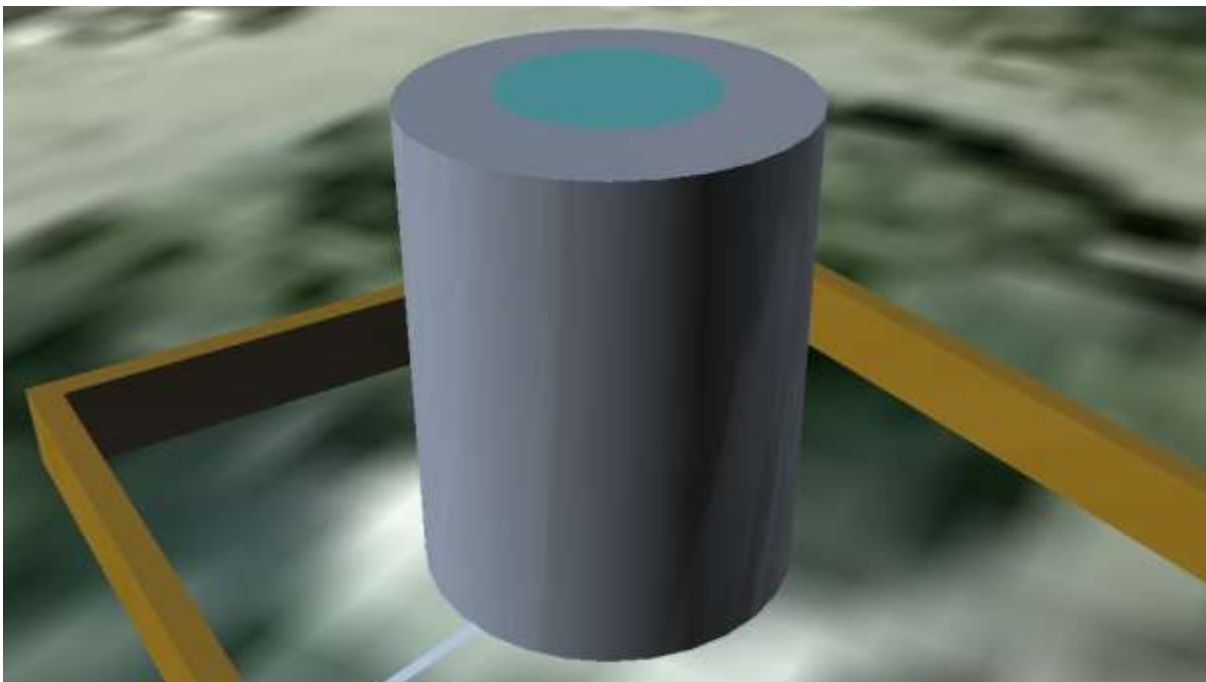
$$m_{\Pi} = W \cdot F_{\Pi} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 1206 \cdot 3600 = 60,196 \text{ кг.}$$



Поверхность пролива

4.12.4. Пожар на дыхательной арматуре

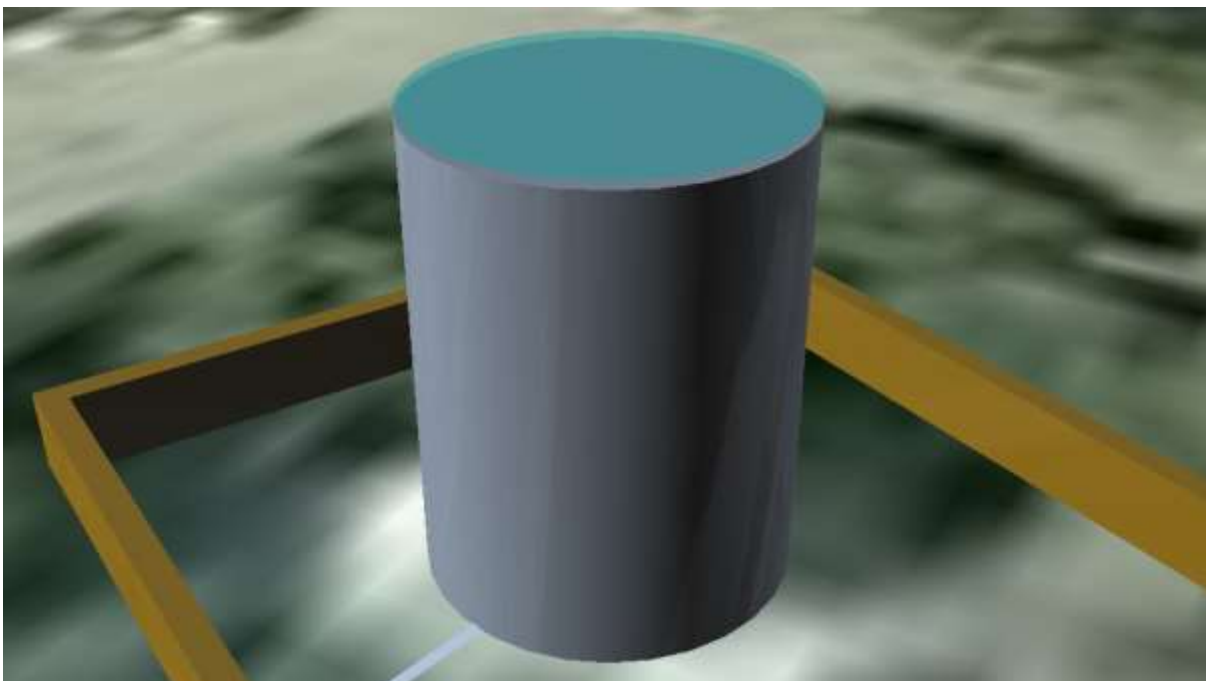
Площадь пожара на дыхательной арматуре принимается равной 5 м².



Площадь пожара

4.12.5. Пожар по всей поверхности

Площадь пожара принимается равной площади резервуара и составляет 17,6 м².



Площадь пожара

4.13. Трубопровод РВС_02

Иницирующие аварийные события не предусмотрены.

4.14. РВС_02

4.14.1. Разгерметизация 25 мм

4.14.2. Разгерметизация 100 мм

4.14.3. Разрушение

4.14.4. Пожар на дыхательной арматуре

4.14.5. Пожар по всей поверхности

4.15. Гибкое соединение автоцистерны

4.15.1. Разгерметизация 5 мм

4.15.2. Разгерметизация 15 мм

4.15.3. Разрушение

Частота возникновения: $4 \cdot 10^{-5} \cdot 52 = 2,08 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 125^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,0659 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0659 \cdot 867 = 57,14 \text{ кг/с}.$$

Объем вылившейся за 300 с жидкости:

$$V_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot 300 = 0,0659 \cdot 300 = 19,771 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{\text{п}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 19,771 = 395,4 \text{ м}^2.$$

Обвалование отсутствует. Площадь пролива составляет 395,4 м².

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 19,771 \cdot 867 = 17141,9 \text{ кг}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

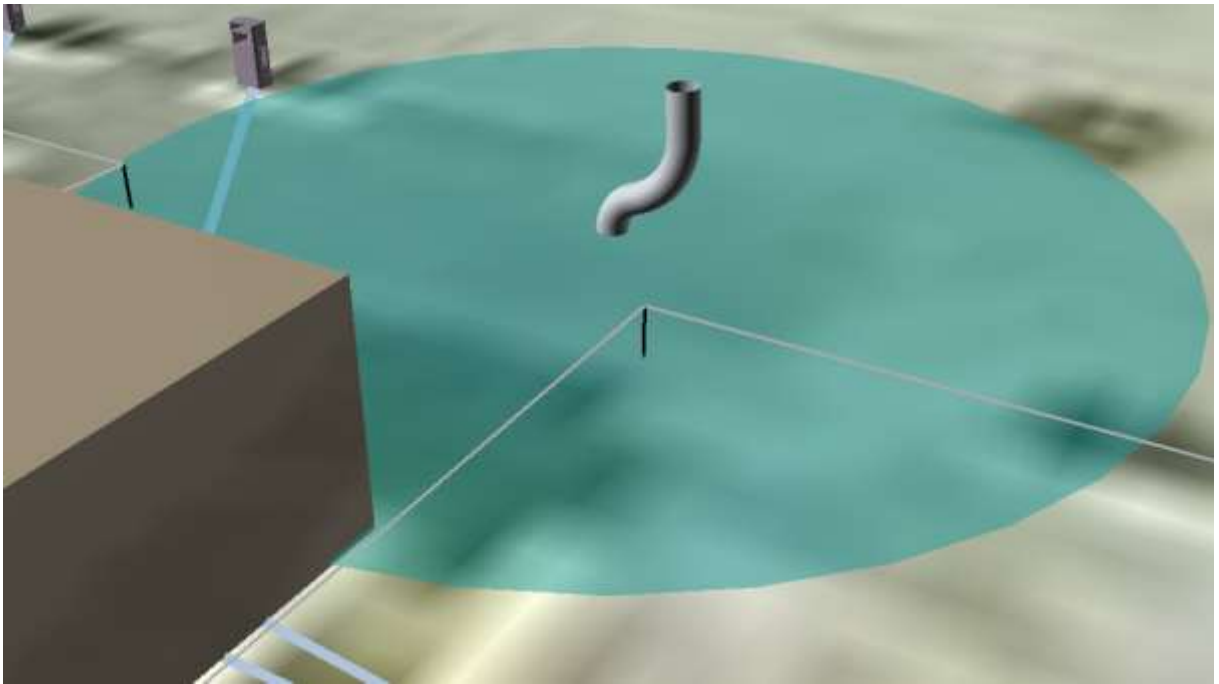
Давление насыщенных паров при температуре 36 °С составляет $P_{\text{н}} = 1,303 \text{ кПа}$.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{113,2} \cdot 1,303 = 0,00001387 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{п}} \cdot 3600 = 0,00001387 \cdot 395,4 \cdot 3600 = 19,738 \text{ кг}.$$



Поверхность пролива

5. Построение полей опасных факторов пожара

5.1. Ж/д цистерна (растворители)

5.1.1. Разгерметизация 25 мм

5.1.2. Разгерметизация 100 мм

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,015$.

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,015 = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$.

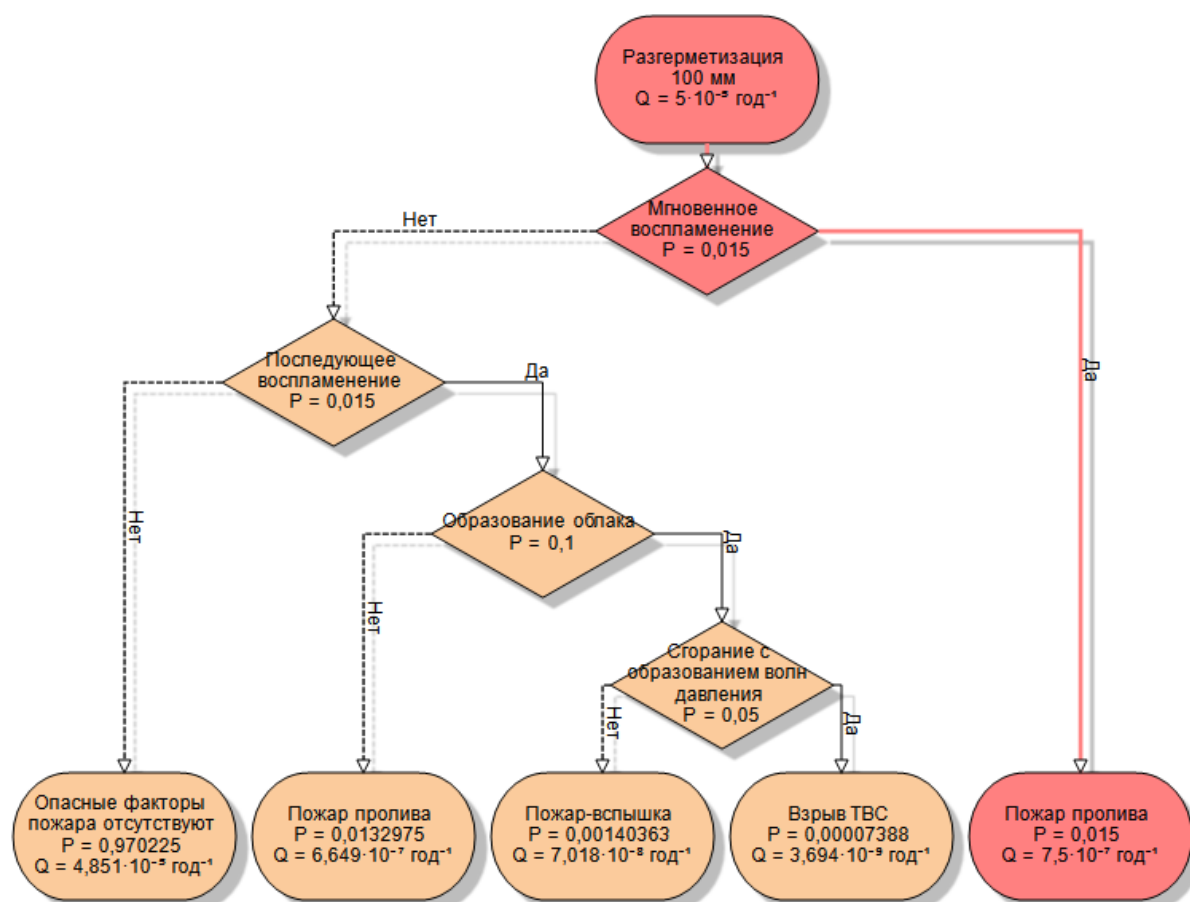


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,015) \cdot 0,015 \cdot (1 - 0,1) = 0,0132975.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0132975 = 6,649 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$.

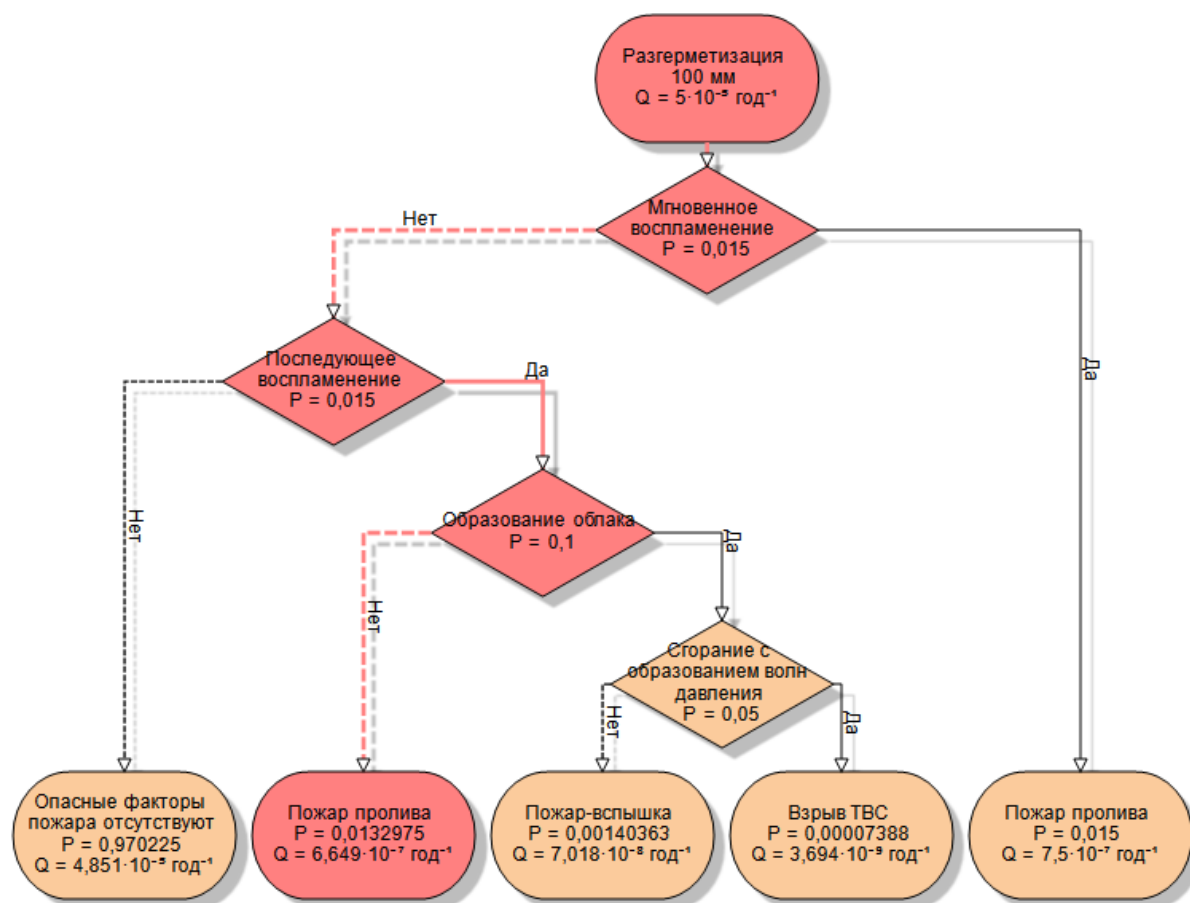


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 15,7 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 1400 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{1400 \cdot \pi}} = 42,2 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 42,2}{3,419}}} = 1,69.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 1,69^{-0,5} = 0,77;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,77^2} = 0,639.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 42,2 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 42,2}} \right)^{0,67} \cdot 1,69^{0,21} = 71,7 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 15,7 + 0,5 \cdot 42,2 = 36,8 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 71,7}{42,2} = 3,4;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 36,8}{42,2} = 1,74;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{3,4^2 + (1,74 + 1)^2 - 2 \cdot 3,4 \cdot (1,74 + 1) \cdot 0,639} = 2,68;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{3,4^2 + (1,74 - 1)^2 - 2 \cdot 3,4 \cdot (1,74 - 1) \cdot 0,639} = 2,98;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,74^2 - 1) \cdot 0,77^2} = 1,49;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \times \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] \Bigg\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ - - 6,14 \cdot \arctan(0,52) + - 6,14 \cdot \left[\frac{3,4^2 + (1,74 + 1)^2 - 2 \cdot 1,74 \cdot (1 + 3,4 \cdot 0,639)}{2,68 \cdot 2,98} \right] \times \right. \\ \times \arctan\left(\frac{2,68 \cdot 0,52}{2,98}\right) + \frac{0,77}{1,49} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3,4 \cdot 1,74 - 1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) + \arctan\left(\frac{1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) \right] \Bigg\} = \\ = 0,356.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,52}\right) + \frac{0,639}{1,49} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3,4 \cdot 1,74 - 1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) + \arctan\left(\frac{1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{3,4^2 + (1,74 + 1)^2 - 2 \cdot 1,74 \cdot (1 + 3,4 \cdot 0,639)}{2,68 \cdot 2,98} \right] \cdot \arctan\left(\frac{2,68 \cdot 0,52}{2,98}\right) \right\} = \\ = 0,507.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,356^2 + 0,507^2} = 0,619.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (36,8 - 0,5 \cdot 42,2)) = 0,989.$$

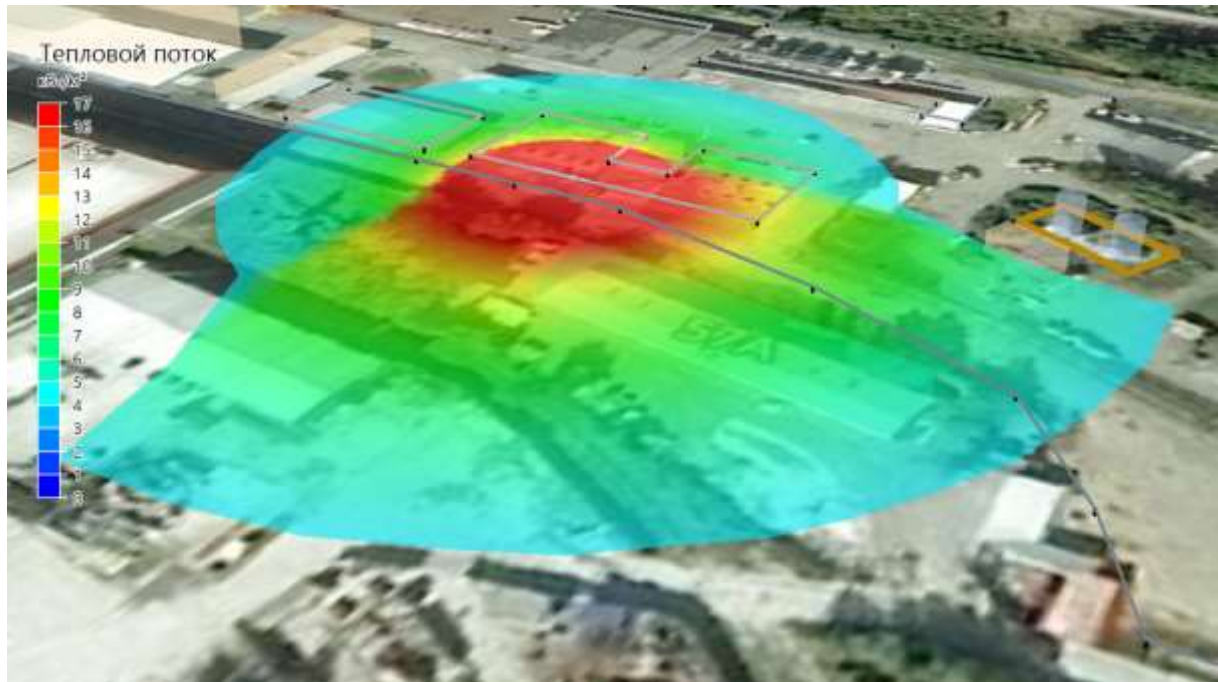
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 42,2} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 42,2}) = 20,8 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

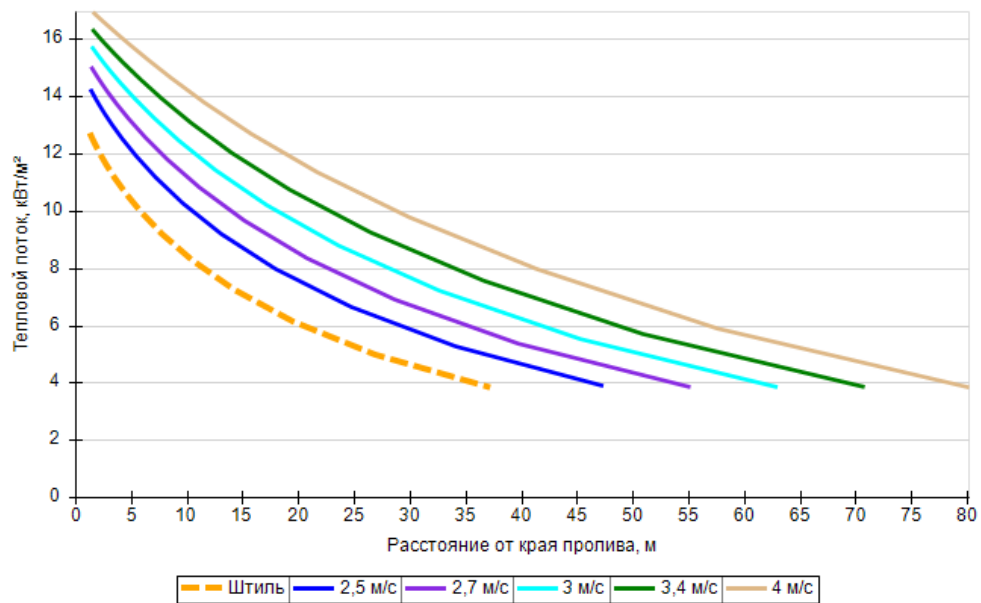
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 20,8 \cdot 0,619 \cdot 0,989 = 12,72 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,015) \cdot 0,015 \cdot 0,1 \cdot 0,05 = 0,00007388.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,00007388 = 3,694 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$

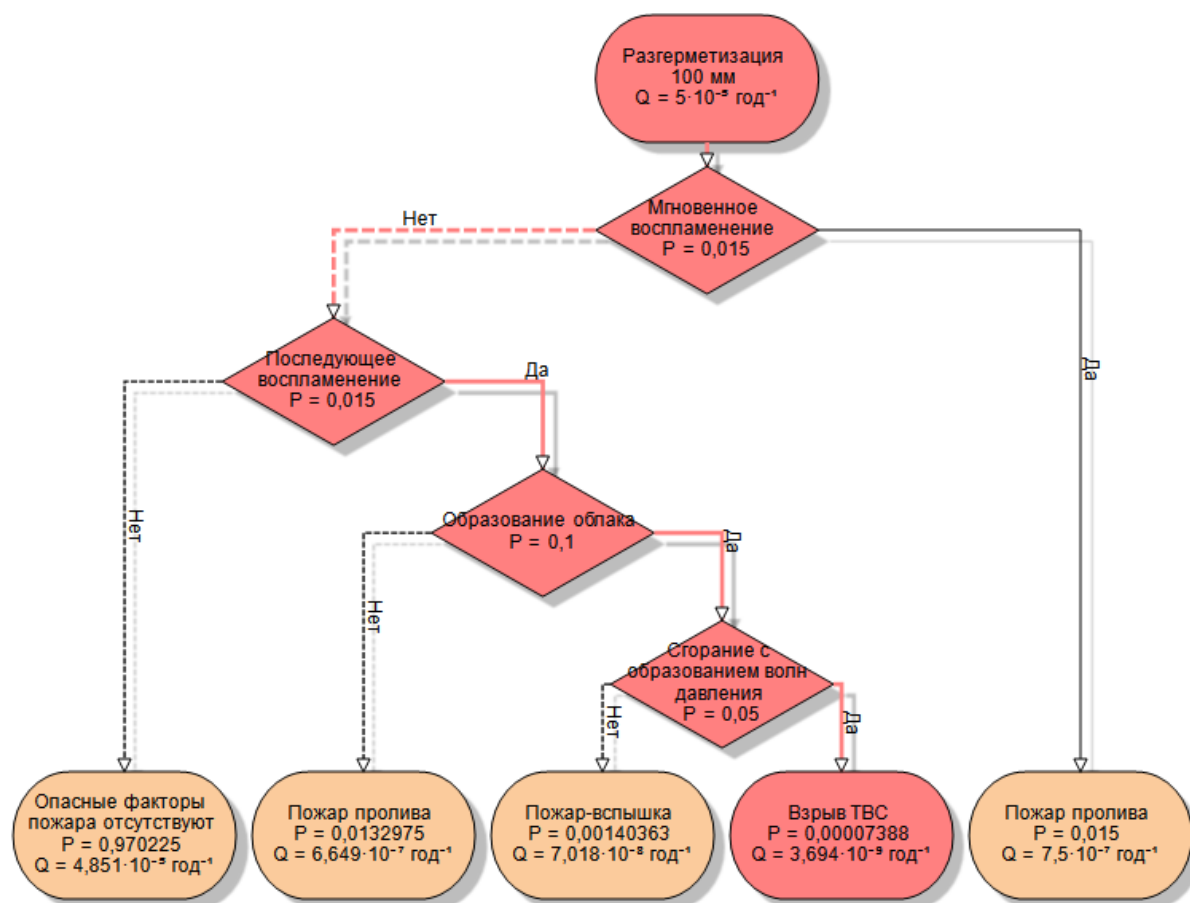


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энерговыделение:

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

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

$$M_T = m_n \cdot Z = 69,88 \cdot 0,1 = 6,988 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 6,988 \cdot 44 \text{ МДж} = 307,47 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 307,47 \cdot 2 = 614,95 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 69,88^{1/6} = 87,3 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 106,8 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{106,8}{(614,95 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 5,85.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{5,85} - \frac{0,14}{5,85^2} \right) \cdot 101000 = 2,581 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

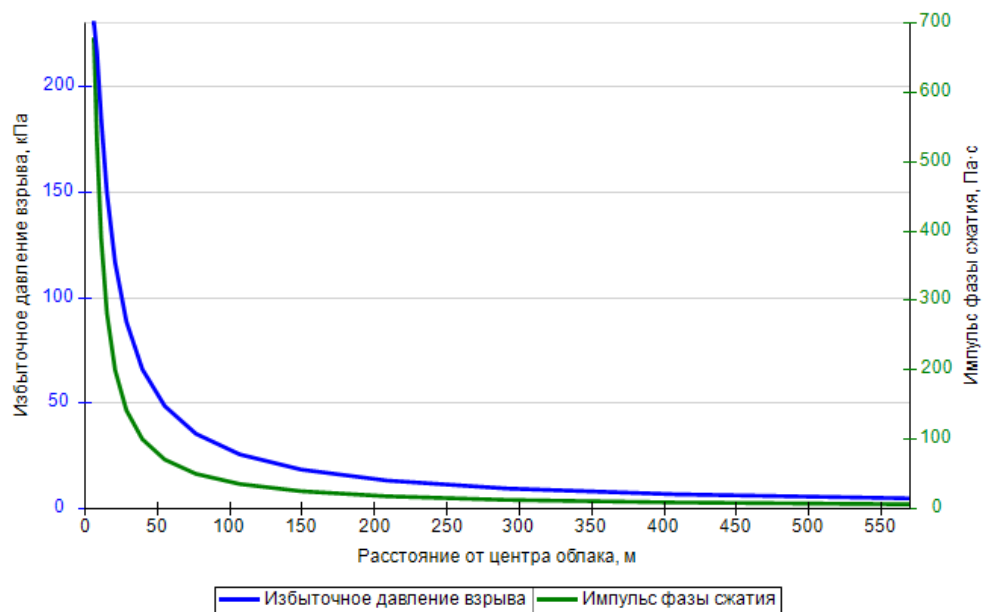
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{5,85} + \frac{0,01}{5,85^2} - \frac{0,0025}{5,85^3} \right) = 0,007; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

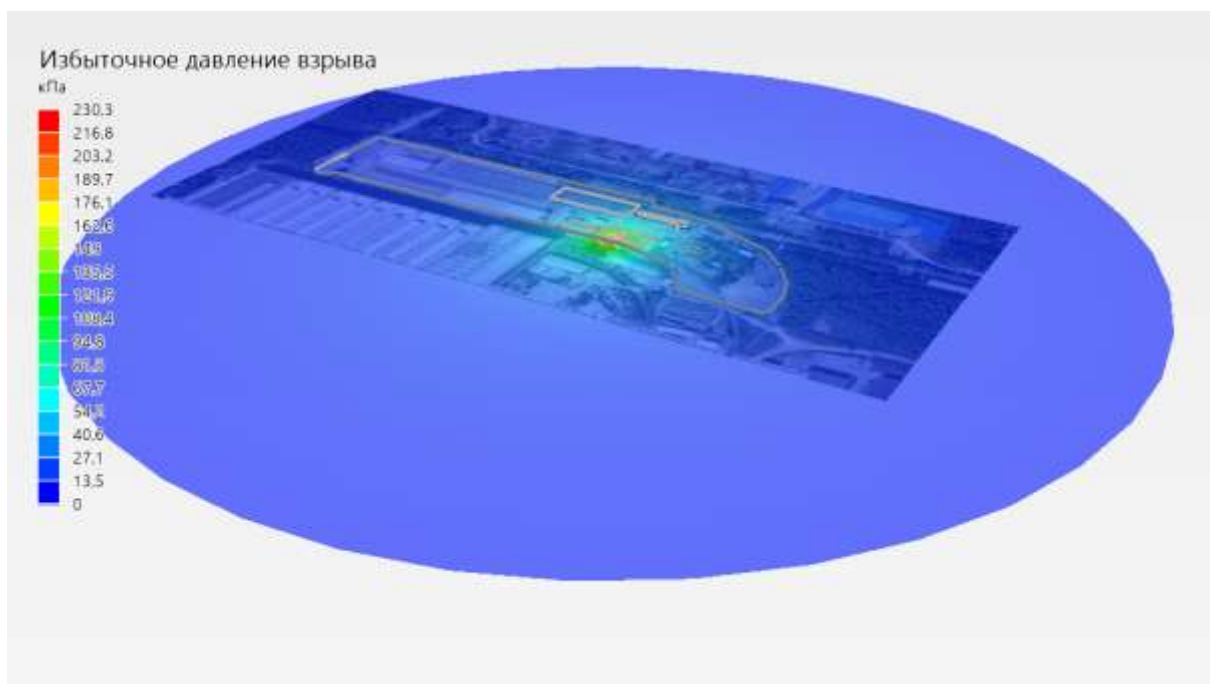
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,007 \cdot 101000^{2/3} \cdot (614,95 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 35,7 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,015) \cdot 0,015 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,05) = 0,00140363.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,00140363 = 7,018 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$

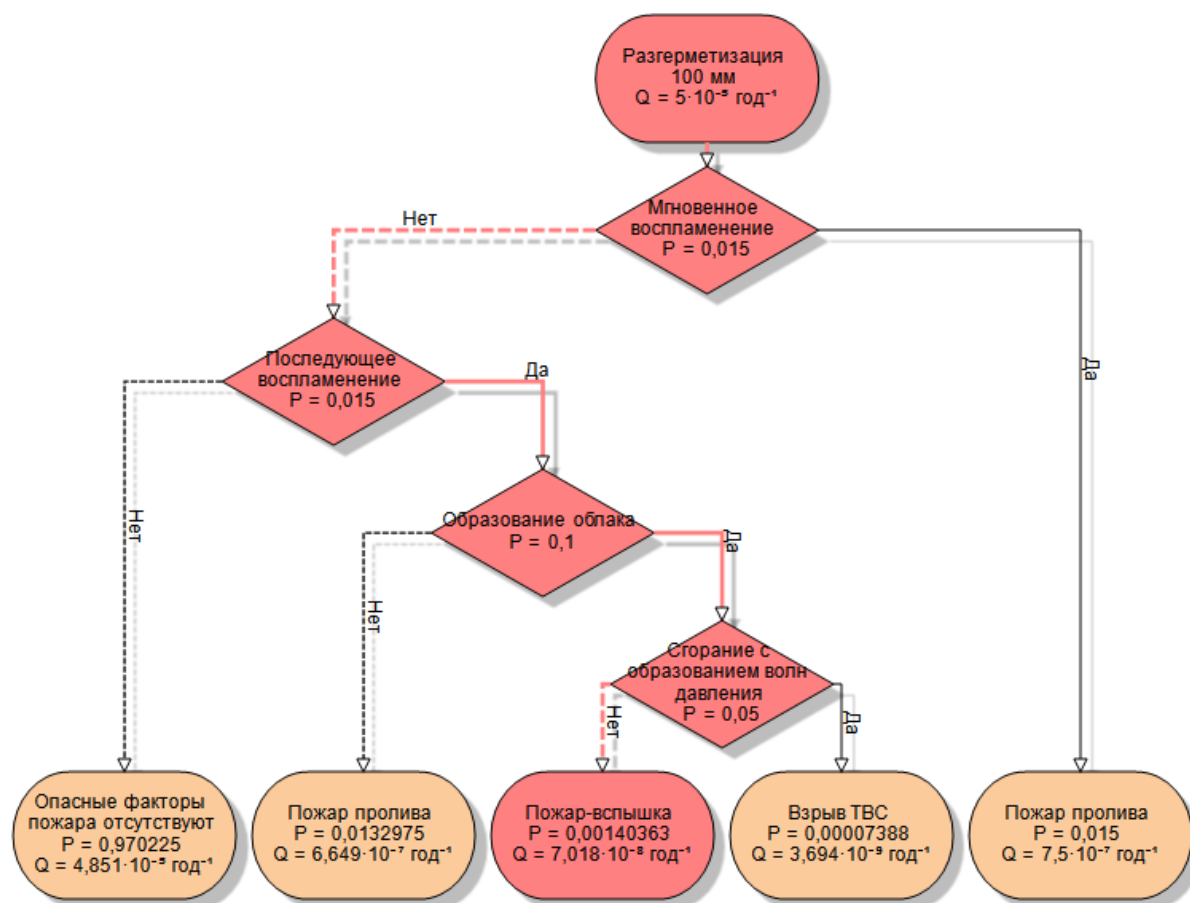


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\pi} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

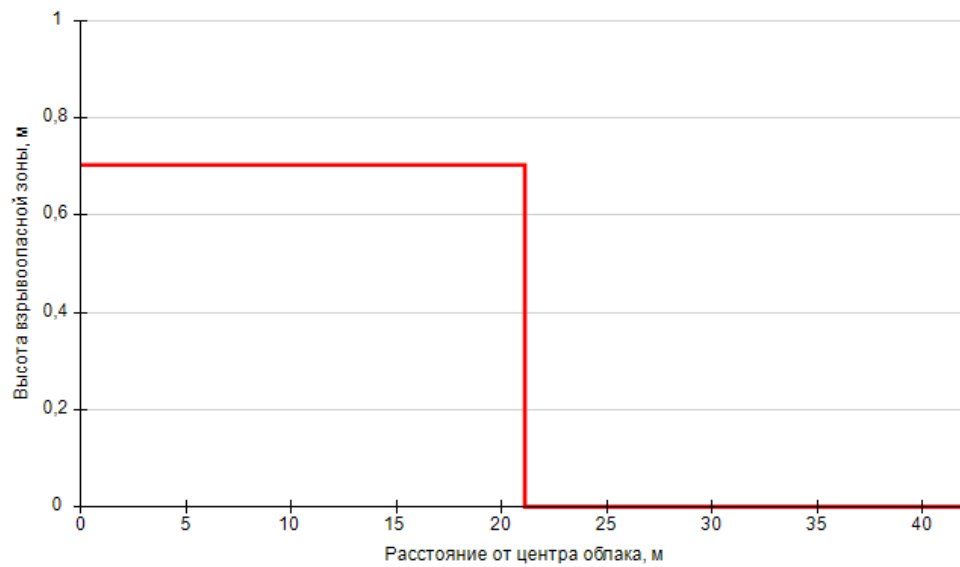
Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее - НКПР), составляет:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\pi}}{\rho_{\pi} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{69,88}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 19,3 \text{ м.}$$

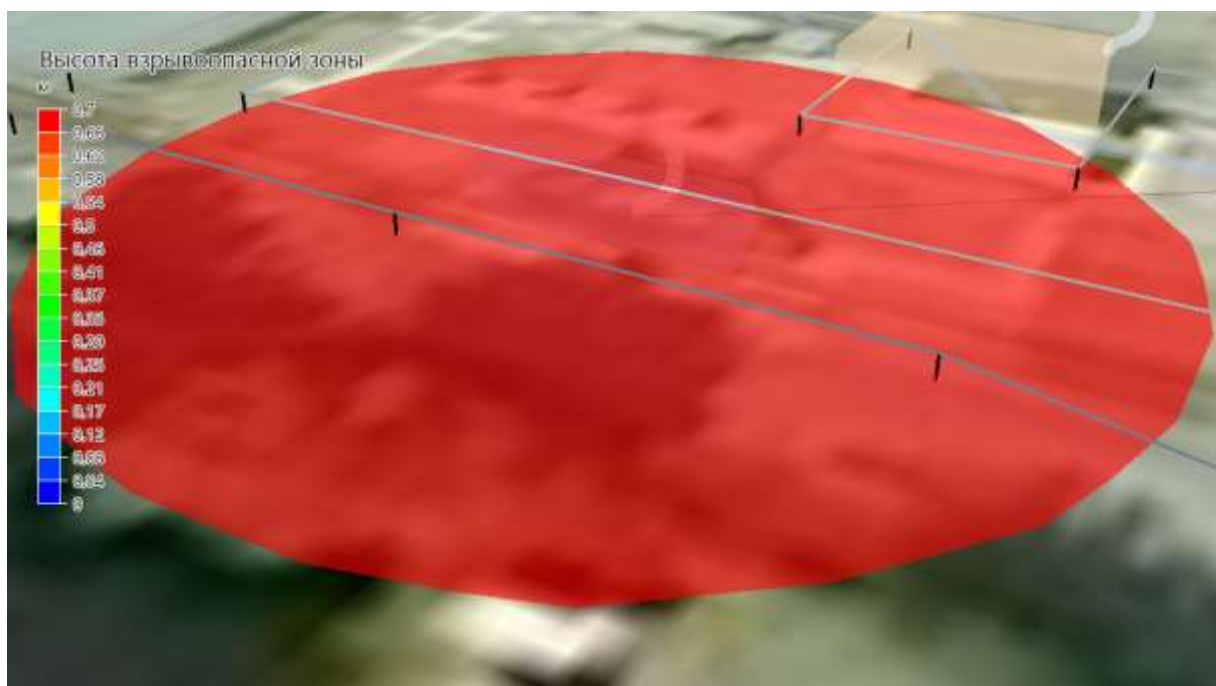
В случае, когда $R_{\text{НКПР}}$ меньше габаритных размеров пролива, – он принимается равным габаритному размеру (эффективному радиусу) пролива: $R_{\text{НКПР}} = 21,1 \text{ м.}$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\pi}}{\rho_{\pi} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{69,88}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,7 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.1.3. Разрушение

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,05$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$.

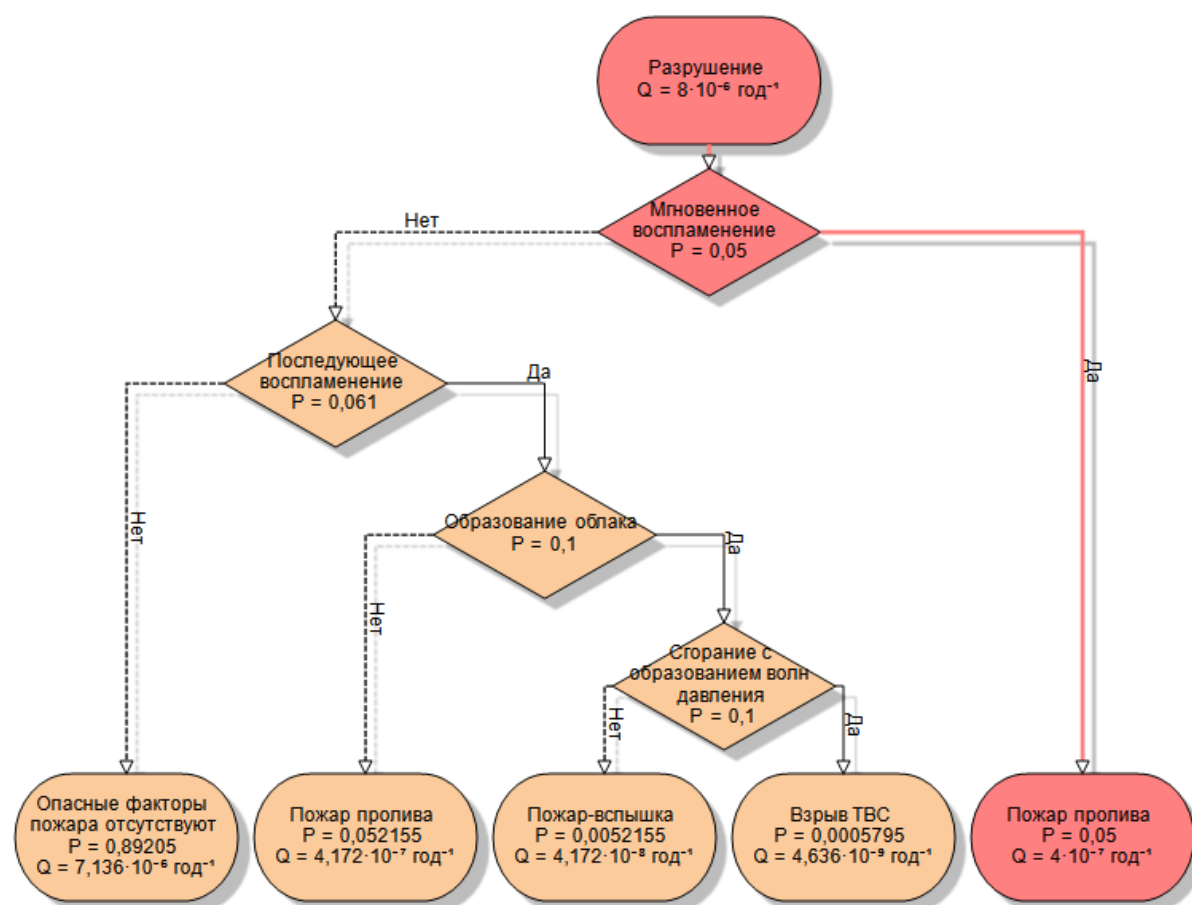


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot (1 - 0,1) = 0,052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,052155 = 4,172 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$

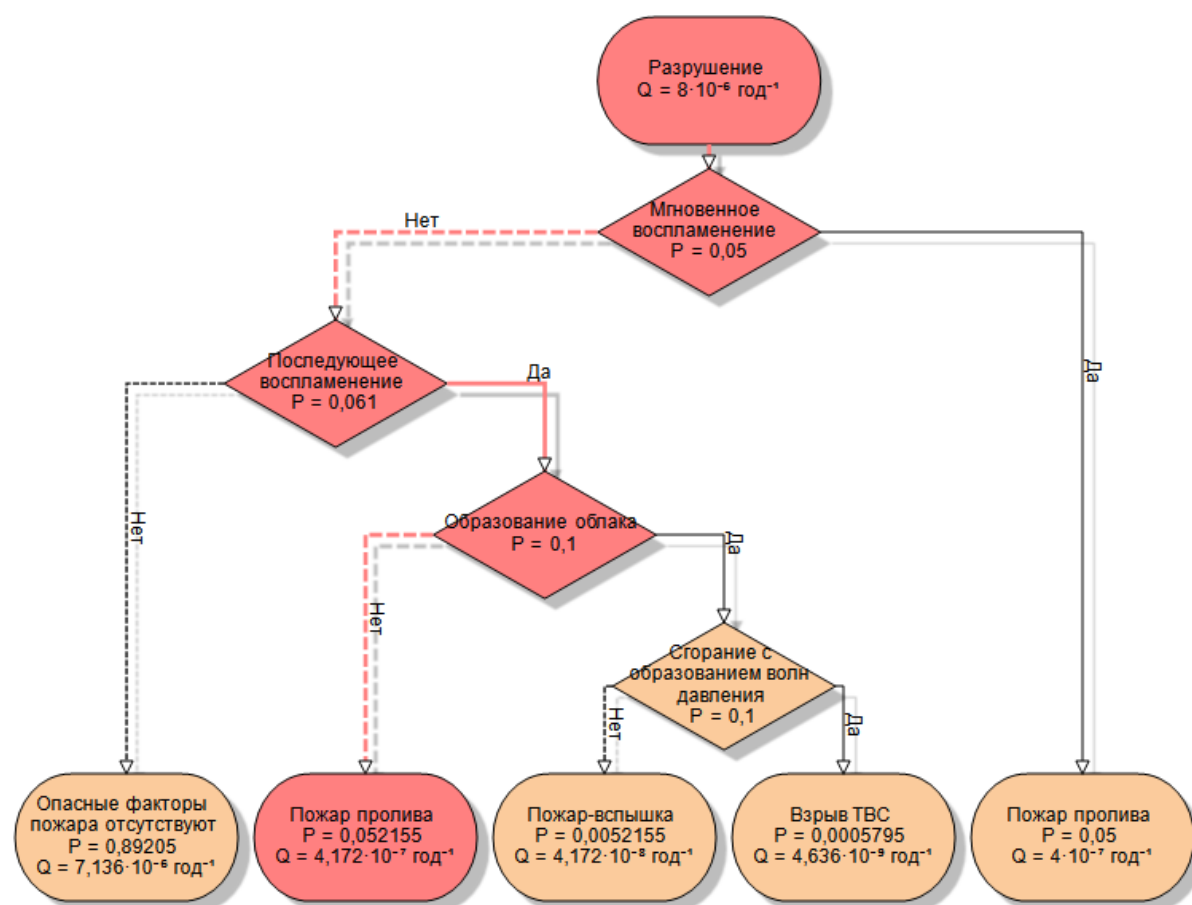


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 15,7 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 1400 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{1400 \cdot \pi}} = 42,2 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 42,2}{3,419}}} = 1,69.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 1,69^{-0,5} = 0,77;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,77^2} = 0,639.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 42,2 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 42,2}} \right)^{0,67} \cdot 1,69^{0,21} = 71,7 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 15,7 + 0,5 \cdot 42,2 = 36,8 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 71,7}{42,2} = 3,4;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 36,8}{42,2} = 1,74;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{3,4^2 + (1,74 + 1)^2 - 2 \cdot 3,4 \cdot (1,74 + 1) \cdot 0,639} = 2,68;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{3,4^2 + (1,74 - 1)^2 - 2 \cdot 3,4 \cdot (1,74 - 1) \cdot 0,639} = 2,98;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,74^2 - 1) \cdot 0,77^2} = 1,49;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \times \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] \Bigg\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ - - 6,14 \cdot \arctan(0,52) + - 6,14 \cdot \left[\frac{3,4^2 + (1,74 + 1)^2 - 2 \cdot 1,74 \cdot (1 + 3,4 \cdot 0,639)}{2,68 \cdot 2,98} \right] \times \right. \\ \times \arctan\left(\frac{2,68 \cdot 0,52}{2,98}\right) + \frac{0,77}{1,49} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3,4 \cdot 1,74 - 1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) + \arctan\left(\frac{1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) \right] \Bigg\} = \\ = 0,356.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,52}\right) + \frac{0,639}{1,49} \cdot \left[\arctan\left(\frac{3,4 \cdot 1,74 - 1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) + \arctan\left(\frac{1,43^2 \cdot 0,639}{1,43 \cdot 1,49}\right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{3,4^2 + (1,74 + 1)^2 - 2 \cdot 1,74 \cdot (1 + 3,4 \cdot 0,639)}{2,68 \cdot 2,98} \right] \cdot \arctan\left(\frac{2,68 \cdot 0,52}{2,98}\right) \right\} = \\ = 0,507.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,356^2 + 0,507^2} = 0,619.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (36,8 - 0,5 \cdot 42,2)) = 0,989.$$

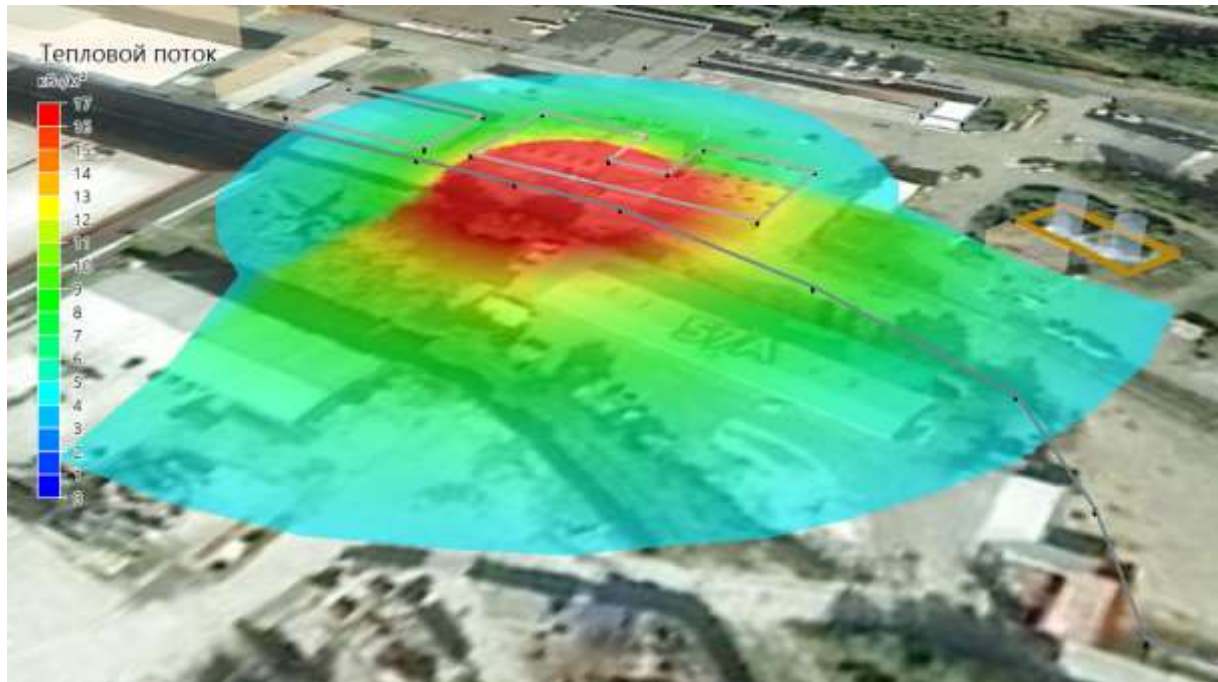
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 42,2} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 42,2}) = 20,8 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

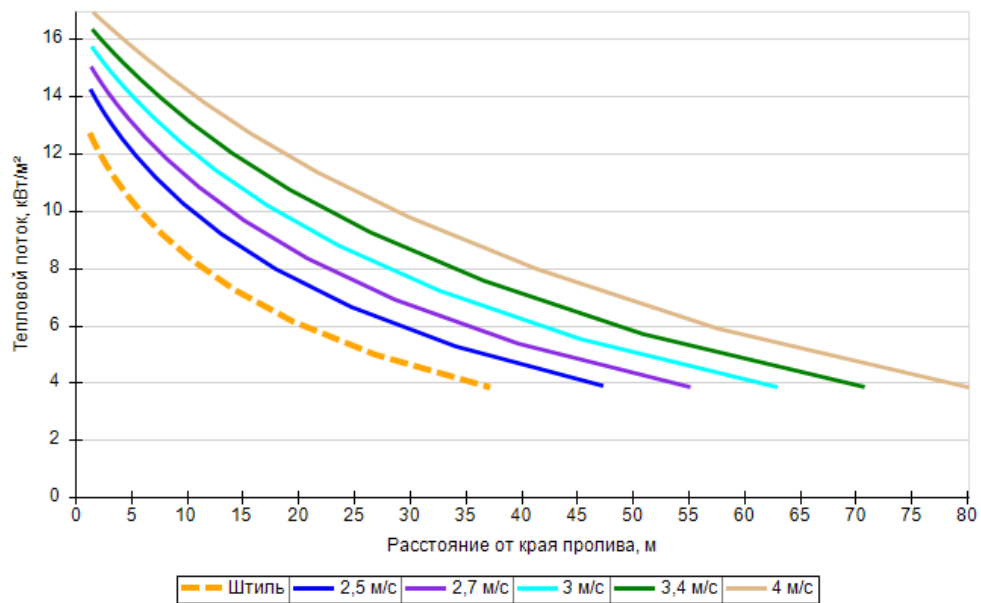
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 20,8 \cdot 0,619 \cdot 0,989 = 12,72 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,0005795.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0005795 = 4,636 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$

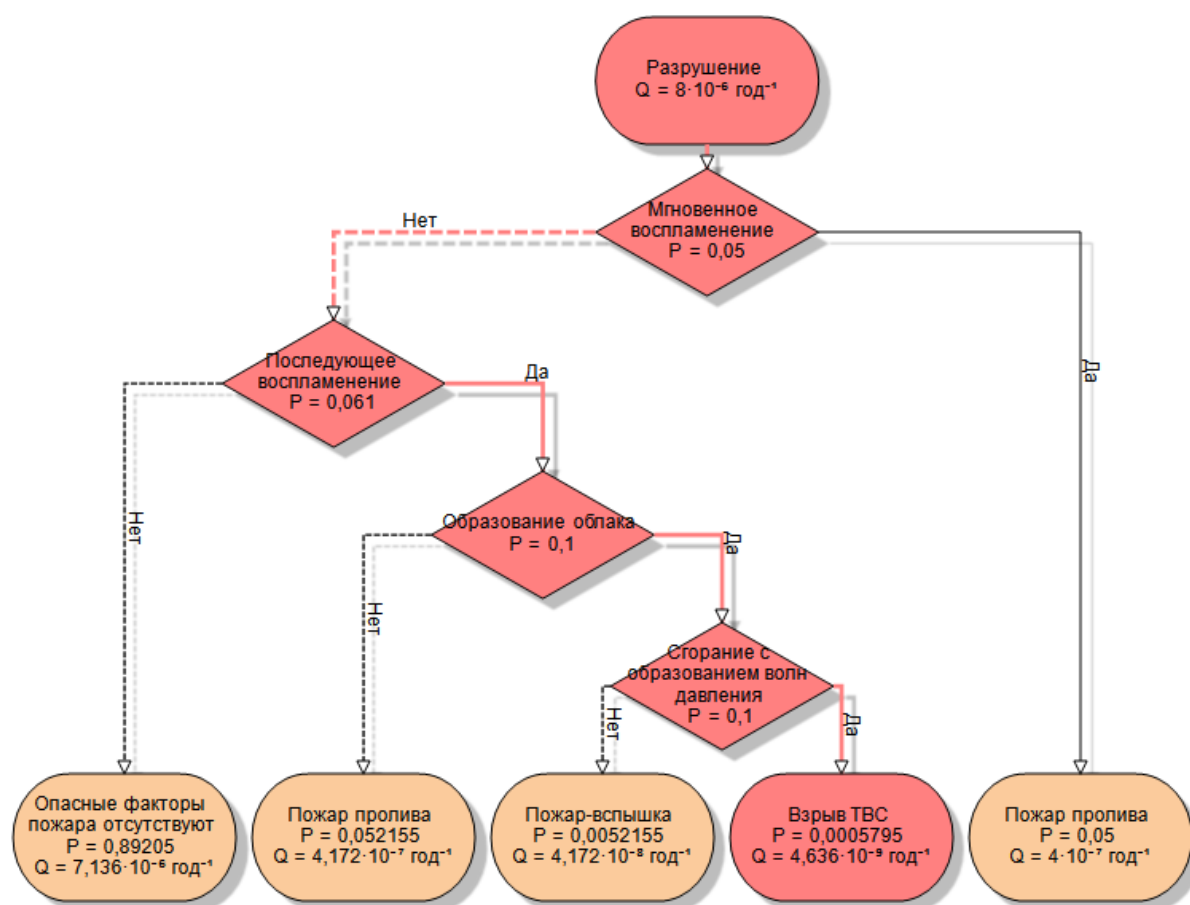


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энергосодержание:

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

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

$$M_T = m_n \cdot Z = 69,88 \cdot 0,1 = 6,988 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 6,988 \cdot 44 \text{ МДж} = 307,47 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 307,47 \cdot 2 = 614,95 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 69,88^{1/6} = 87,3 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 106,8 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{106,8}{(614,95 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 5,85.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{5,85} - \frac{0,14}{5,85^2} \right) \cdot 101000 = 2,581 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

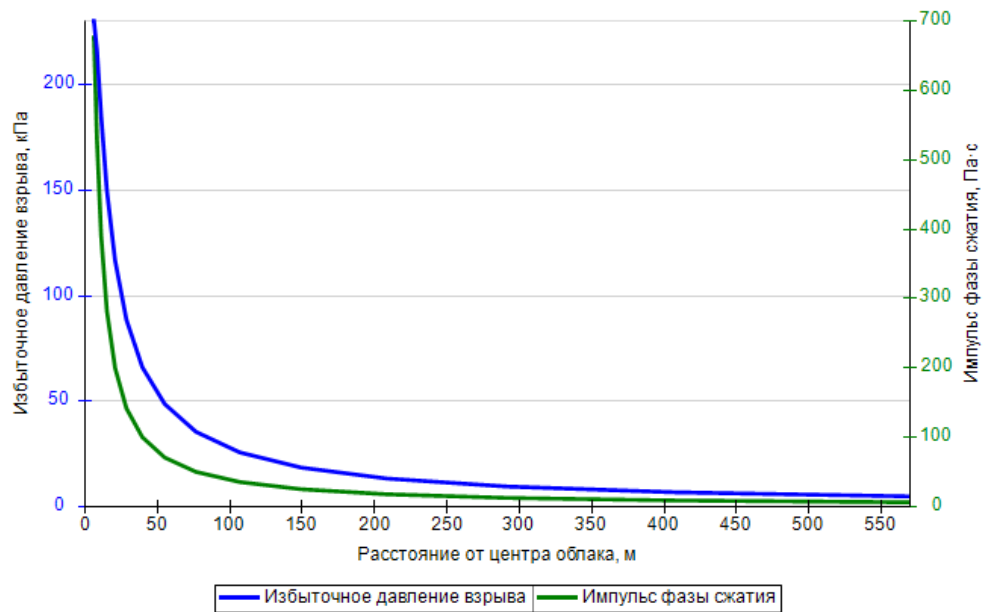
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{5,85} + \frac{0,01}{5,85^2} - \frac{0,0025}{5,85^3} \right) = 0,007; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

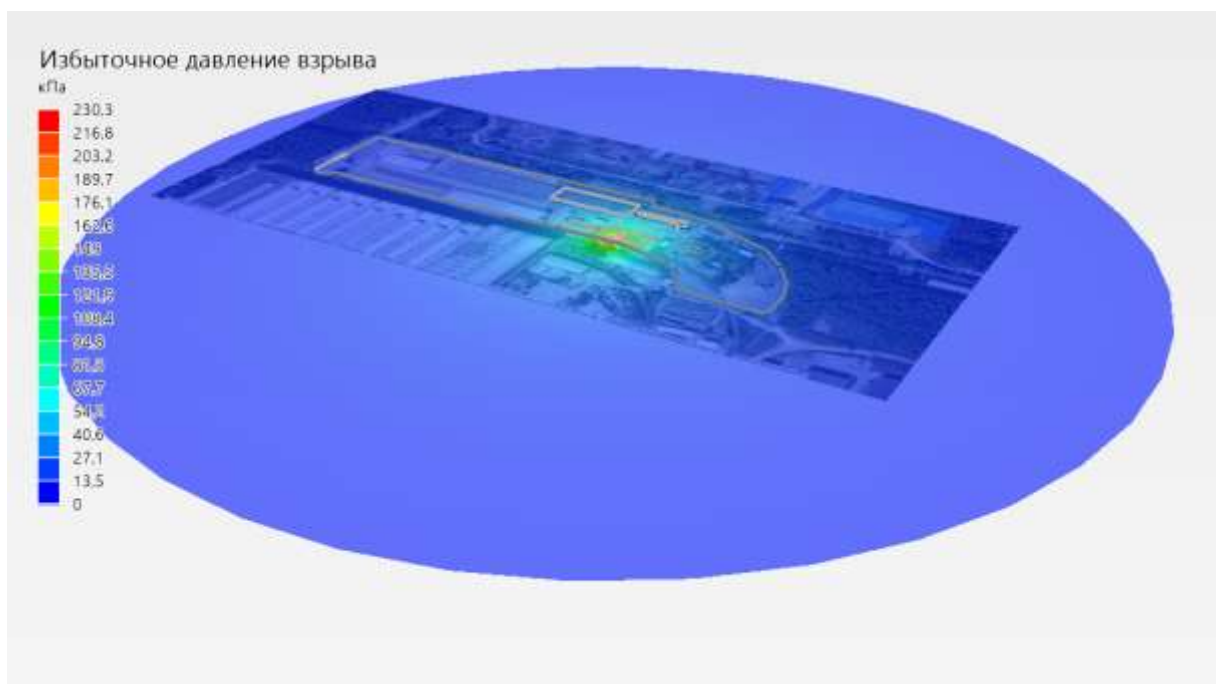
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,007 \cdot 101000^{2/3} \cdot (614,95 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 35,7 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,1) = 0,0052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0052155 = 4,172 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$

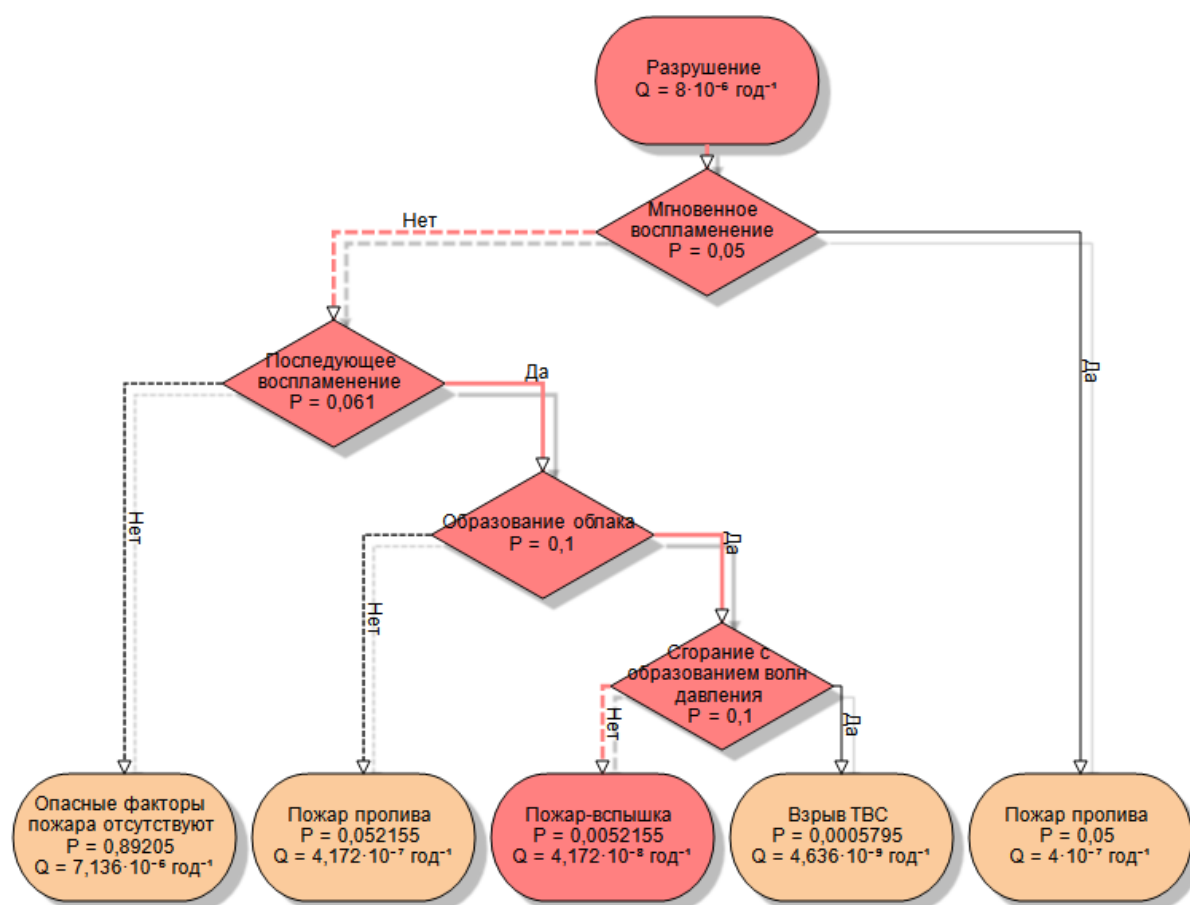


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

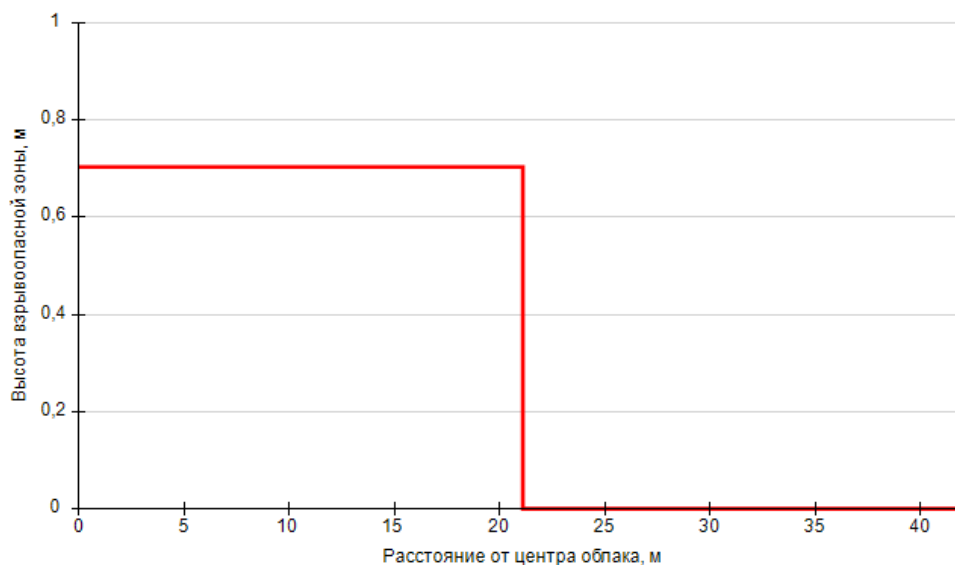
Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее - НКПР), составляет:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{69,88}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 19,3 \text{ м.}$$

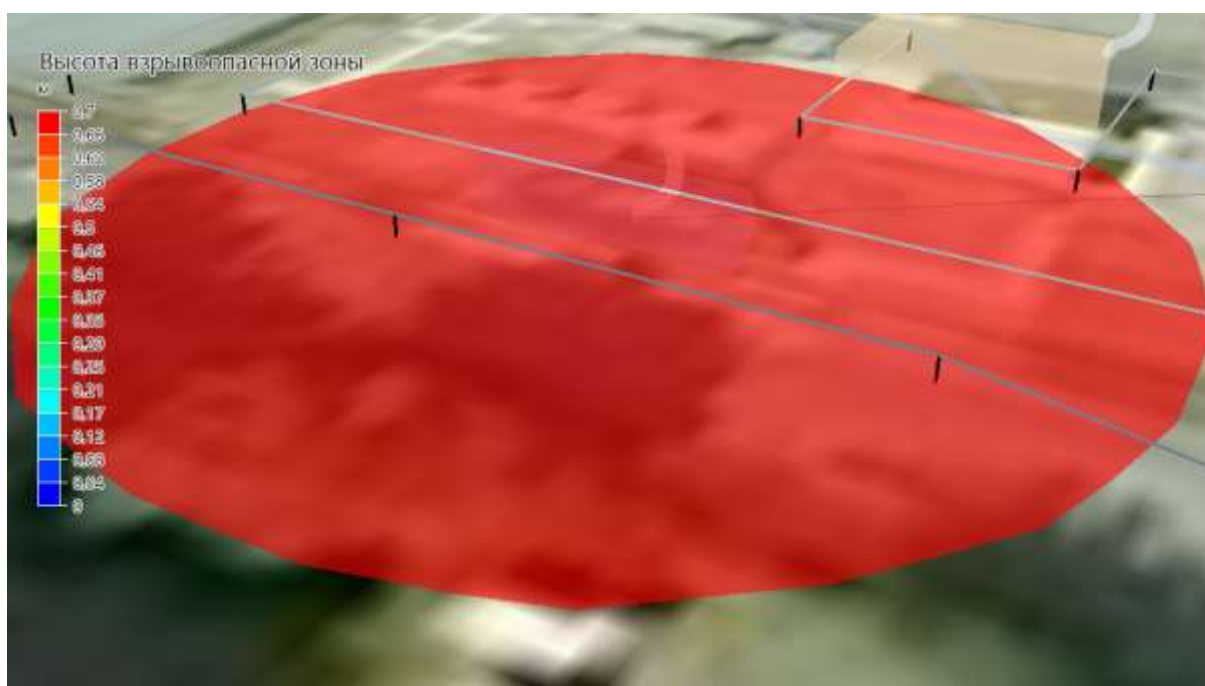
В случае, когда $R_{\text{НКПР}}$ меньше габаритных размеров пролива, – он принимается равным габаритному размеру (эффективному радиусу) пролива: $R_{\text{НКПР}} = 21,1 \text{ м.}$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{69,88}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,7 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.1.4. Пожар по всей поверхности

Пожар по всей поверхности

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

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 12,5 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения

теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 31,7 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{31,7 \cdot \pi}} = 6,4 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 6,4}{3,419}}} = 3,17.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 3,17^{-0,5} = 0,561;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,561^2} = 0,828.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 6,4 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 6,4}} \right)^{0,67} \cdot 3,17^{0,21} = 23,3 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 12,5 + 0,5 \cdot 6,4 = 15,7 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 23,3}{6,4} = 7,32;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 15,7}{6,4} = 4,94;$$

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

$$= \sqrt{7,32^2 + (4,94 + 1)^2 - 2 \cdot 7,32 \cdot (4,94 + 1) \cdot 0,828} = 4,11;$$

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

$$= \sqrt{7,32^2 + (4,94 - 1)^2 - 2 \cdot 7,32 \cdot (4,94 - 1) \cdot 0,828} = 4,62;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta} = \sqrt{1 + (4,94^2 - 1) \cdot 0,561^2} = 2,89;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_V &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \Bigg\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -3,68 \cdot \arctan(0,81) + -3,68 \cdot \left[\frac{7,32^2 + (4,94 + 1)^2 - 2 \cdot 4,94 \cdot (1 + 7,32 \cdot 0,828)}{4,11 \cdot 4,62} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left(\frac{4,11 \cdot 0,81}{4,62} \right) + \frac{0,561}{2,89} \cdot \left[\arctan \left(\frac{7,32 \cdot 4,94 - 4,84^2 \cdot 0,828}{4,84 \cdot 2,89} \right) + \arctan \left(\frac{4,84^2 \cdot 0,828}{4,84 \cdot 2,89} \right) \right] \Bigg\} = \\
&= 0,174.
\end{aligned}$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\
&- \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \Bigg\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,81} \right) + \frac{0,828}{2,89} \cdot \left[\arctan \left(\frac{7,32 \cdot 4,94 - 4,84^2 \cdot 0,828}{4,84 \cdot 2,89} \right) + \arctan \left(\frac{4,84^2 \cdot 0,828}{4,84 \cdot 2,89} \right) \right] - \right. \\
&- \left[\frac{7,32^2 + (4,94 + 1)^2 - 2 \cdot 4,94 \cdot (1 + 7,32 \cdot 0,828)}{4,11 \cdot 4,62} \right] \cdot \arctan \left(\frac{4,11 \cdot 0,81}{4,62} \right) \Bigg\} = \\
&= 0,329.
\end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,174^2 + 0,329^2} = 0,372.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (15,7 - 0,5 \cdot 6,4)) = 0,991.$$

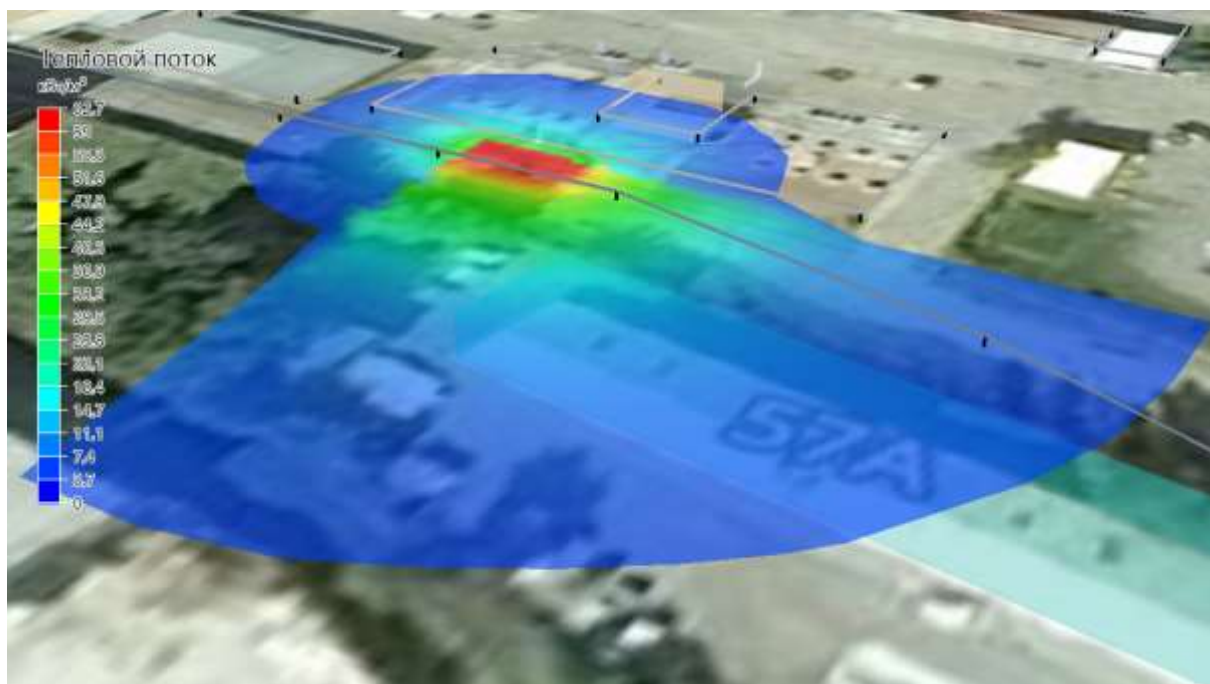
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned}
E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\
&= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 6,4} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 6,4}) = 76 \text{ кВт/м}^2.
\end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

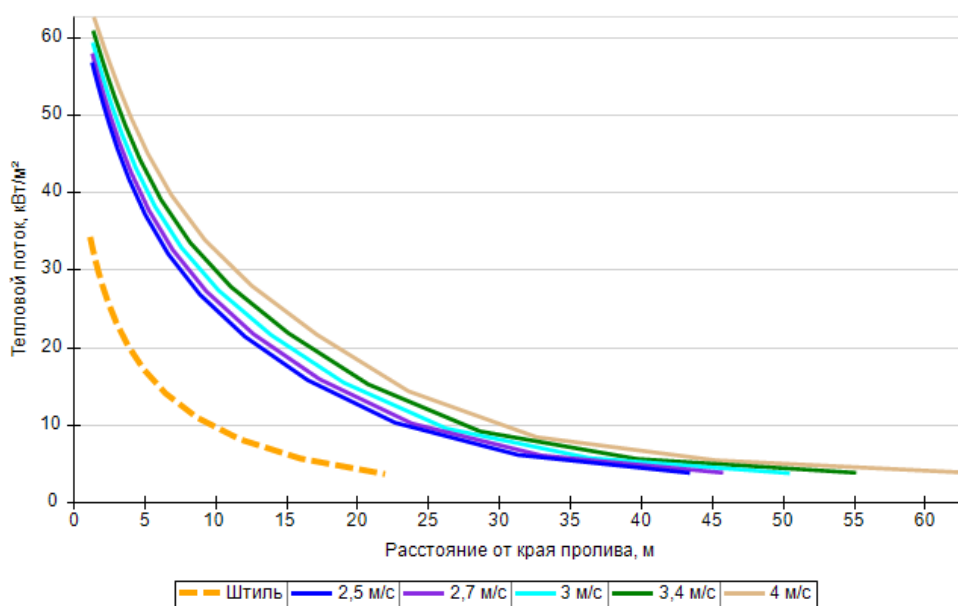
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 76 \cdot 0,372 \cdot 0,991 = 28,01 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

5.2. Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей

5.2.1. Разгерметизация 5 мм

5.2.2. Разгерметизация 15 мм

5.2.3. Разрушение

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,05$.

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

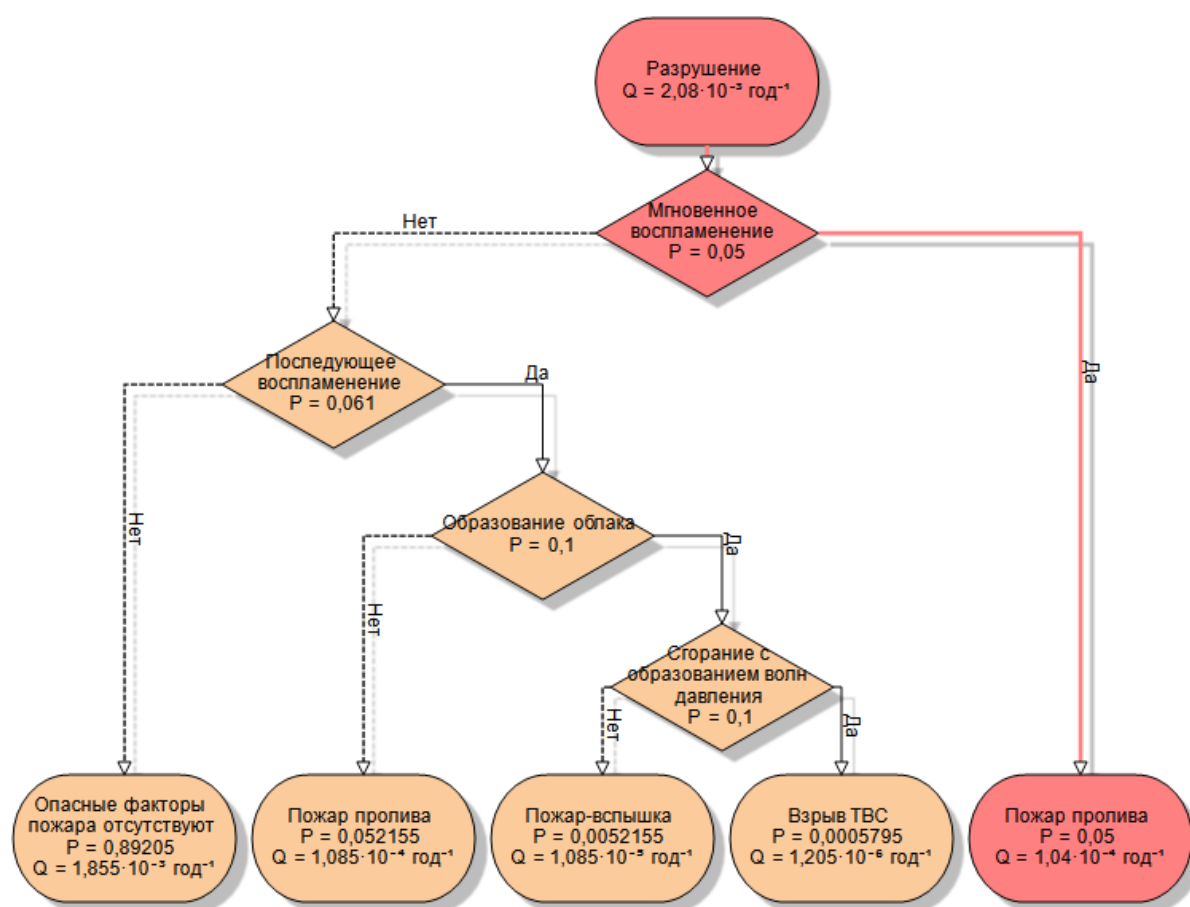


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot (1 - 0,1) = 0,052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,052155 = 1,085 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

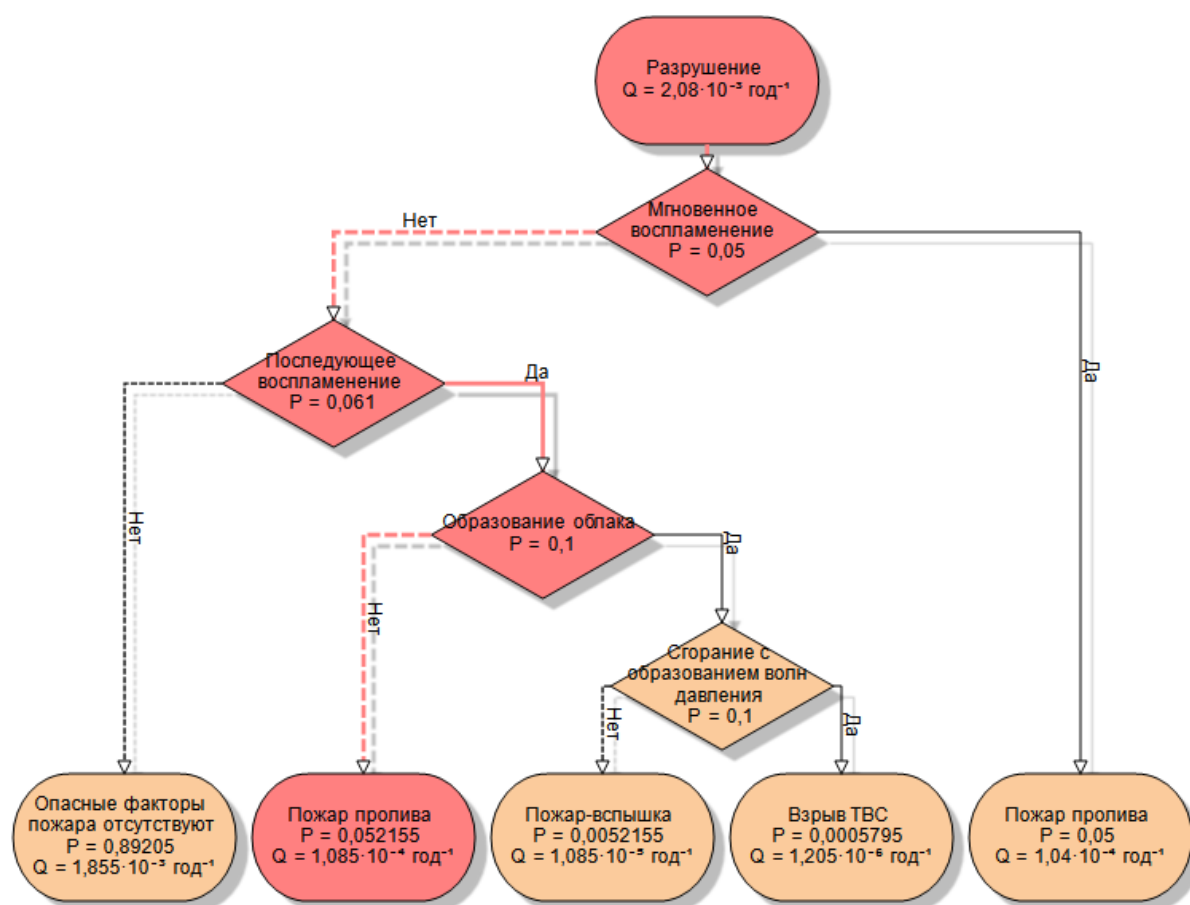


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 13,1 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 395,4 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{395,4 \cdot \pi}} = 22,4 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 22,4}{3,419}}} = 2,08.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 2,08^{-0,5} = 0,693;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,693^2} = 0,721.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 22,4 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 22,4}} \right)^{0,67} \cdot 2,08^{0,21} = 49,3 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 13,1 + 0,5 \cdot 22,4 = 24,3 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 49,3}{22,4} = 4,39;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 24,3}{22,4} = 2,17;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,39^2 + (2,17 + 1)^2 - 2 \cdot 4,39 \cdot (2,17 + 1) \cdot 0,721} = 3,04;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,39^2 + (2,17 - 1)^2 - 2 \cdot 4,39 \cdot (2,17 - 1) \cdot 0,721} = 3,64;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (2,17^2 - 1) \cdot 0,693^2} = 1,67;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$\begin{aligned} F_V &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ &\times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \Bigg\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ - - 3,04 \cdot \arctan(0,61) + - 3,04 \cdot \left[\frac{4,39^2 + (2,17 + 1)^2 - 2 \cdot 2,17 \cdot (1 + 4,39 \cdot 0,721)}{3,04 \cdot 3,64} \right] \times \right. \\ &\times \arctan \left(\frac{3,04 \cdot 0,61}{3,64} \right) + \frac{0,693}{1,67} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,39 \cdot 2,17 - 1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) + \arctan \left(\frac{1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) \right] \Bigg\} = \\ &= 0,308. \end{aligned}$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned} F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ &- \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \Bigg\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,61} \right) + \frac{0,721}{1,67} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,39 \cdot 2,17 - 1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) + \arctan \left(\frac{1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) \right] - \right. \\ &- \left[\frac{4,39^2 + (2,17 + 1)^2 - 2 \cdot 2,17 \cdot (1 + 4,39 \cdot 0,721)}{3,04 \cdot 3,64} \right] \cdot \arctan \left(\frac{3,04 \cdot 0,61}{3,64} \right) \Bigg\} = \\ &= 0,498. \end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,308^2 + 0,498^2} = 0,586.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (24,3 - 0,5 \cdot 22,4)) = 0,991.$$

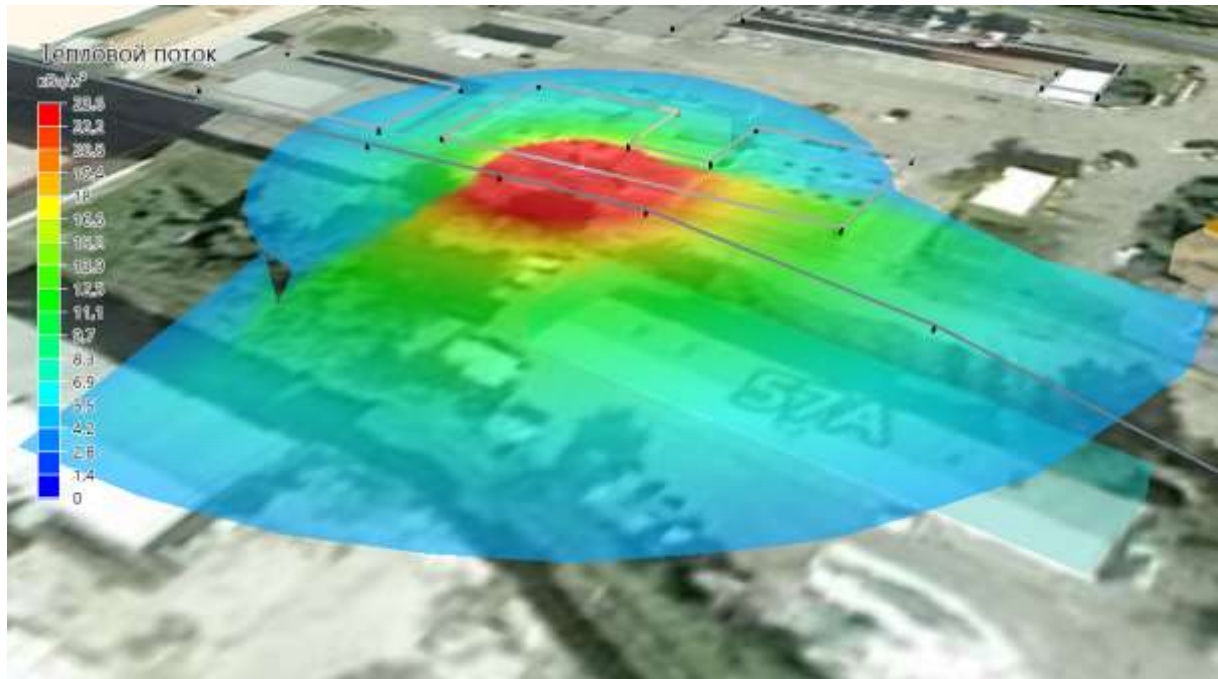
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 22,4} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 22,4}) = 28,1 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

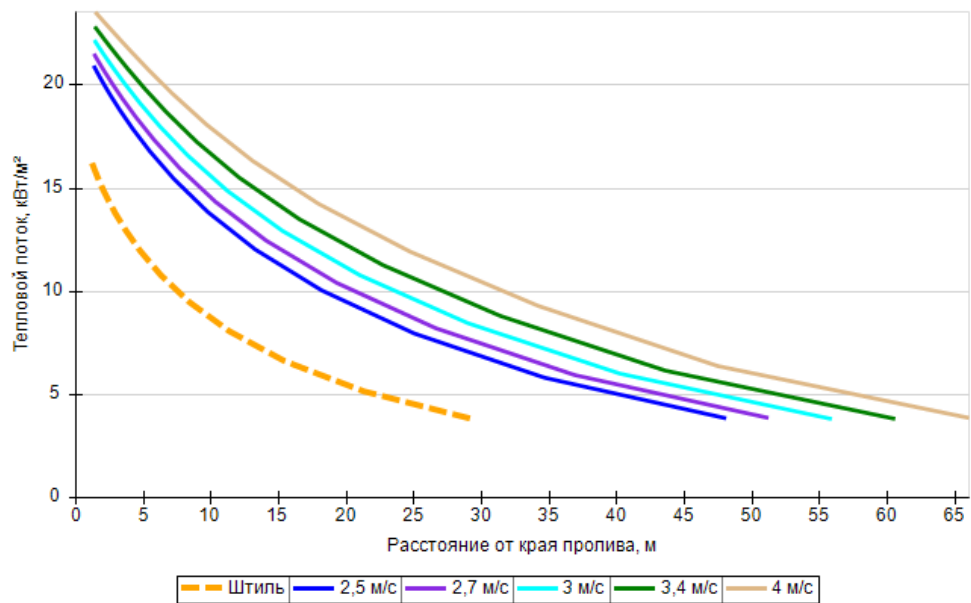
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 28,1 \cdot 0,586 \cdot 0,991 = 16,32 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,0005795.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0005795 = 1,205 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$

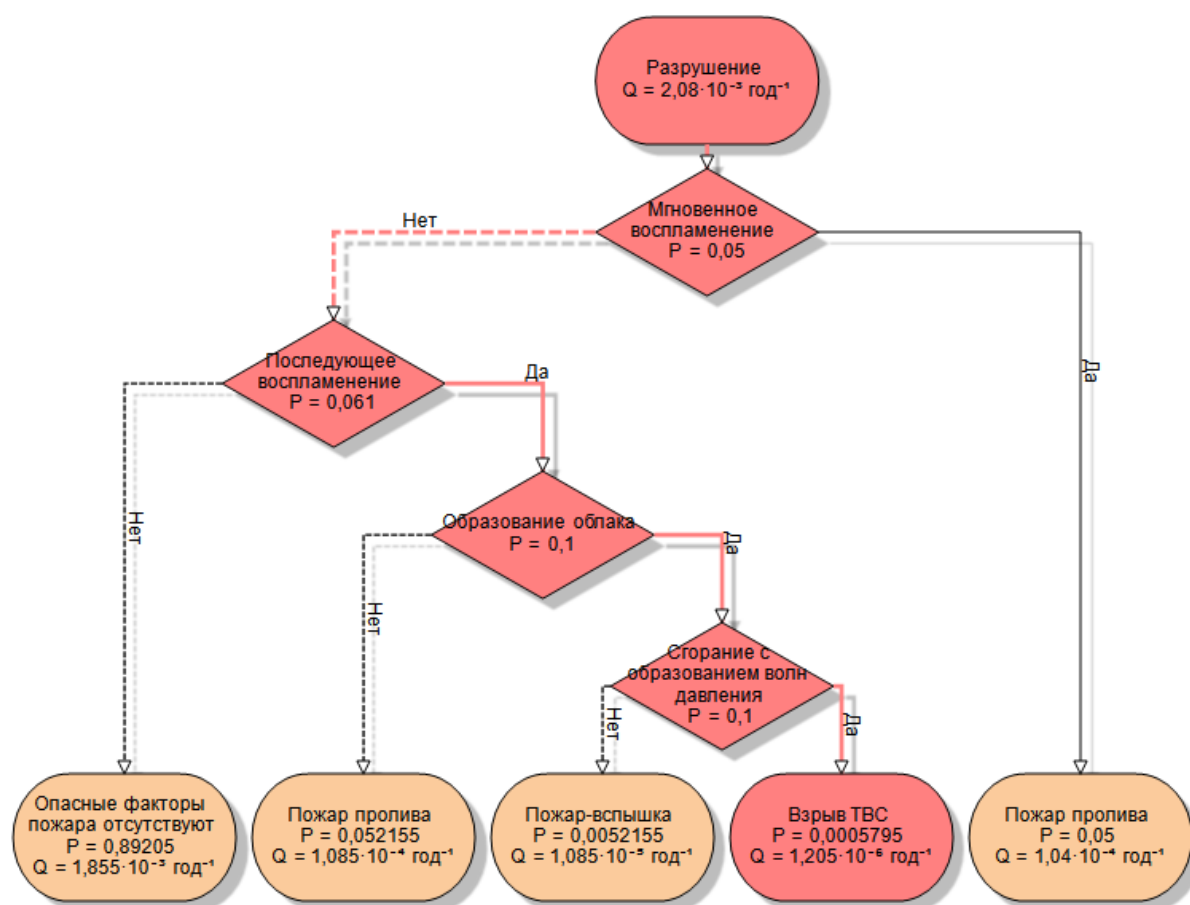


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энерговыделение:

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

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

$$M_T = m_{ц} \cdot Z = 19,738 \cdot 0,1 = 1,974 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 1,974 \cdot 44 \text{ МДж} = 86,85 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 86,85 \cdot 2 = 173,69 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 19,738^{1/6} = 70,7 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 70,1 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{70,1}{(173,69 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 5,85.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{5,85} - \frac{0,14}{5,85^2} \right) \cdot 101000 = 2,578 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

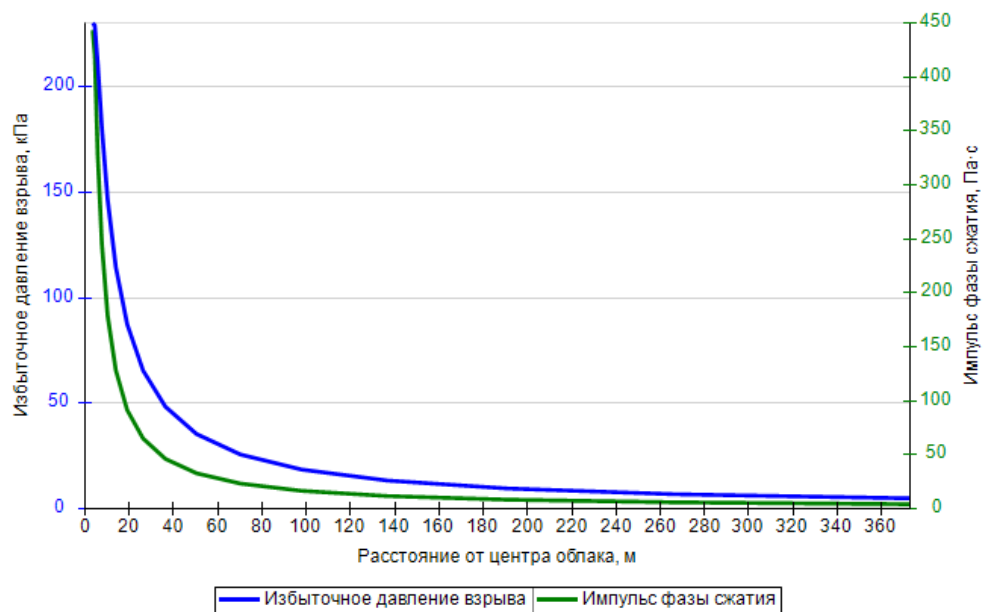
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{5,85} + \frac{0,01}{5,85^2} - \frac{0,0025}{5,85^3} \right) = 0,007; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

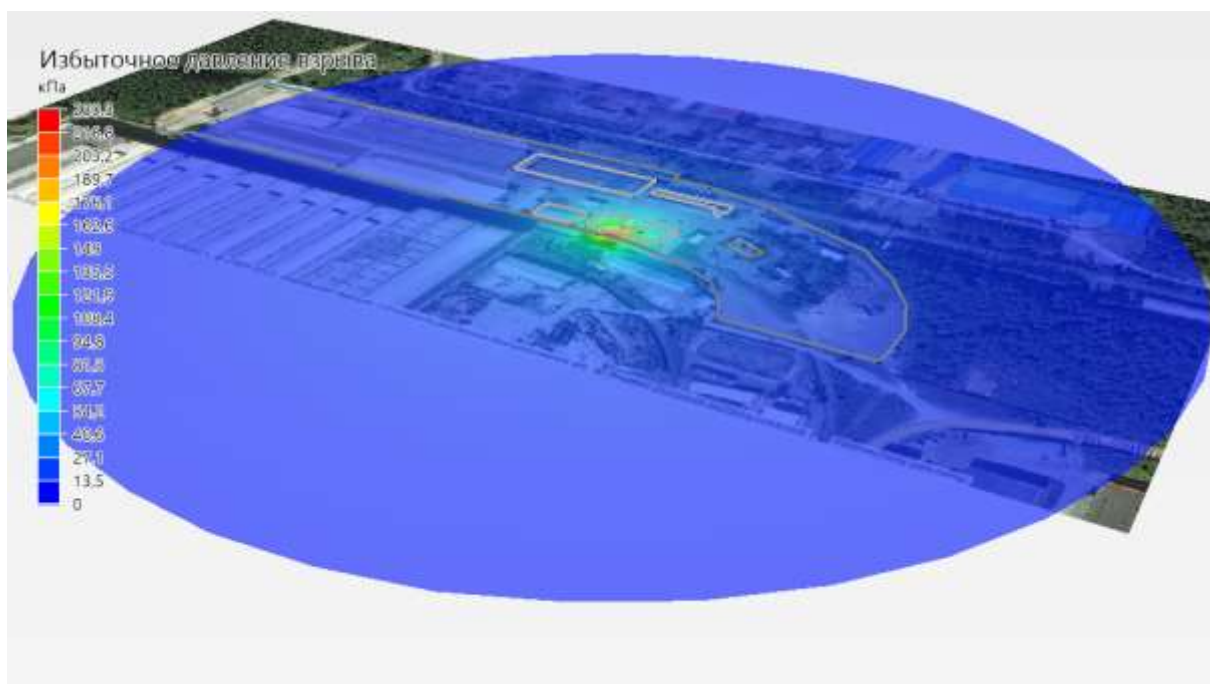
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,007 \cdot 101000^{2/3} \cdot (173,69 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 23,4 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,1) = 0,0052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0052155 = 1,085 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$

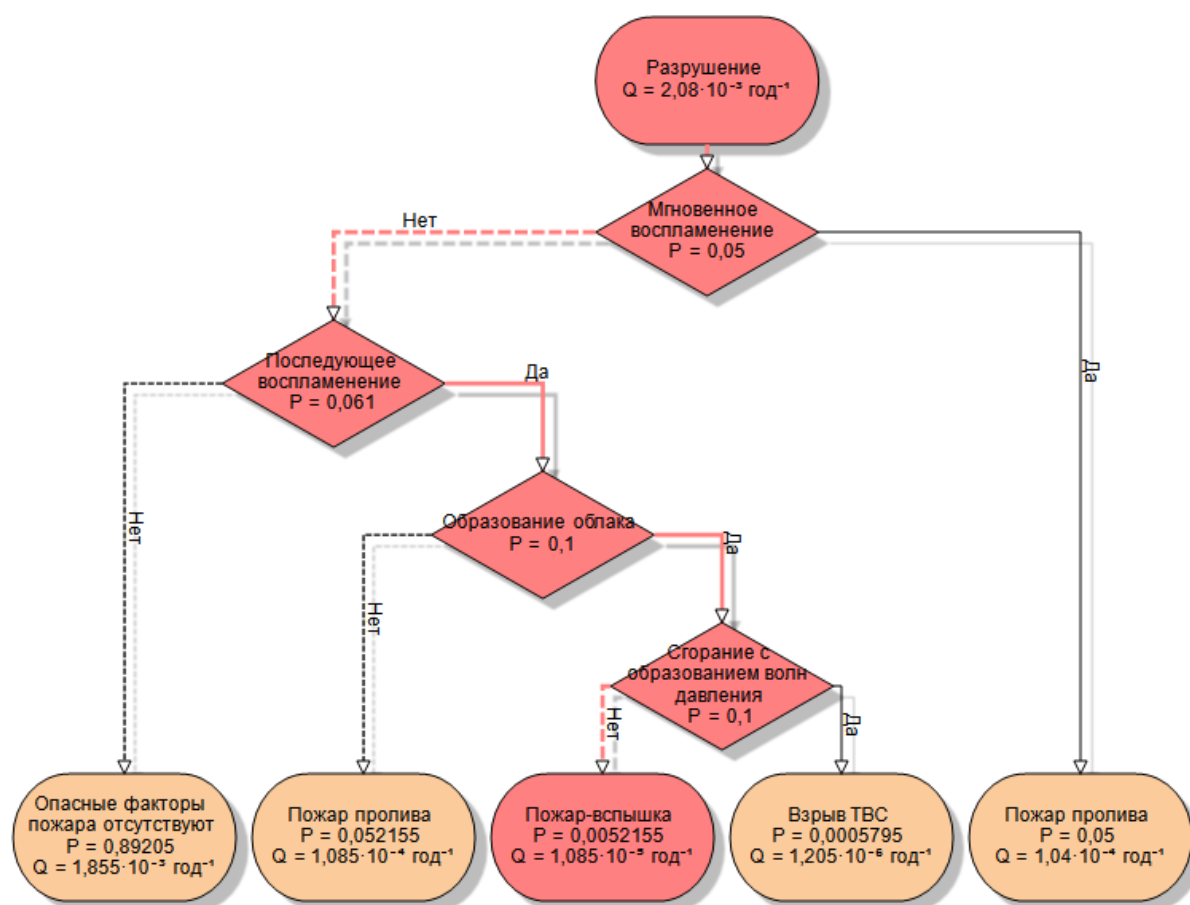


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

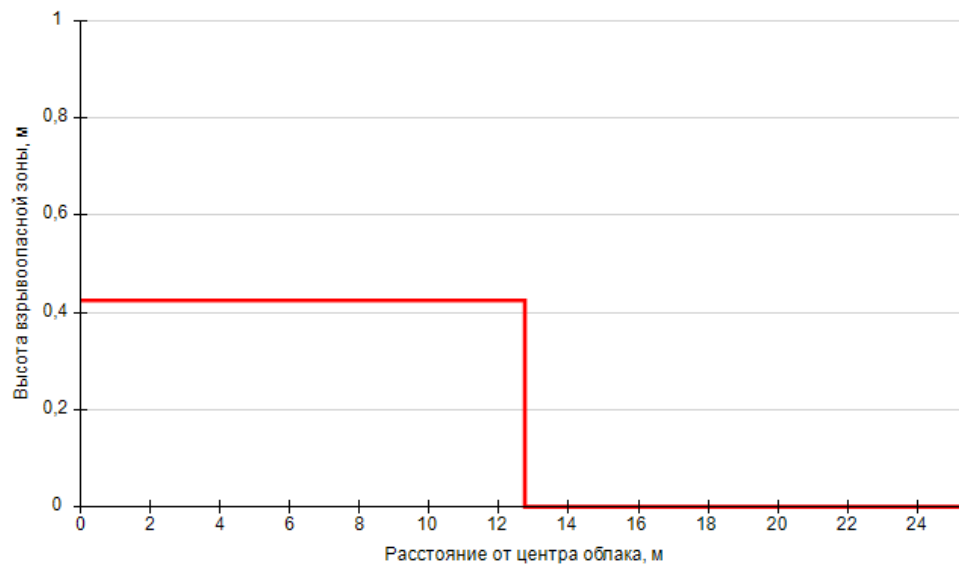
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

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

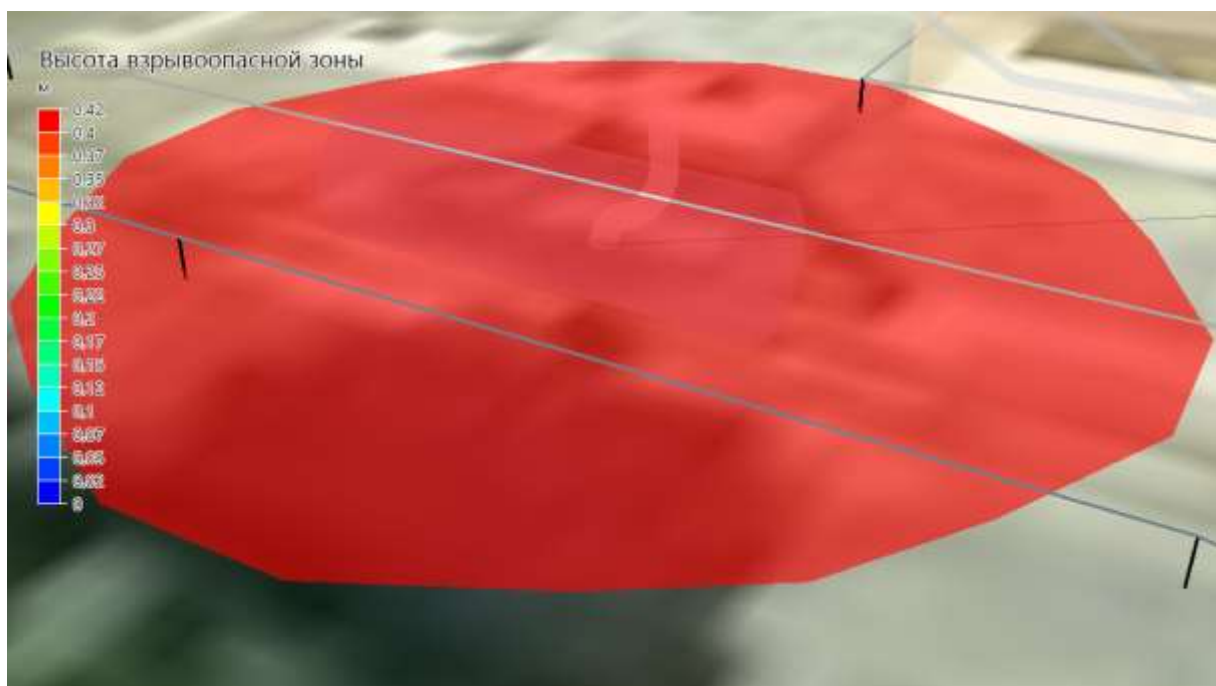
$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{19,738}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 12,7 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{19,738}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,42 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.3. Розлив растворителей 02 - секция_1

5.3.1. Разрыв линии топливоподдачи

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,05$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,05 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

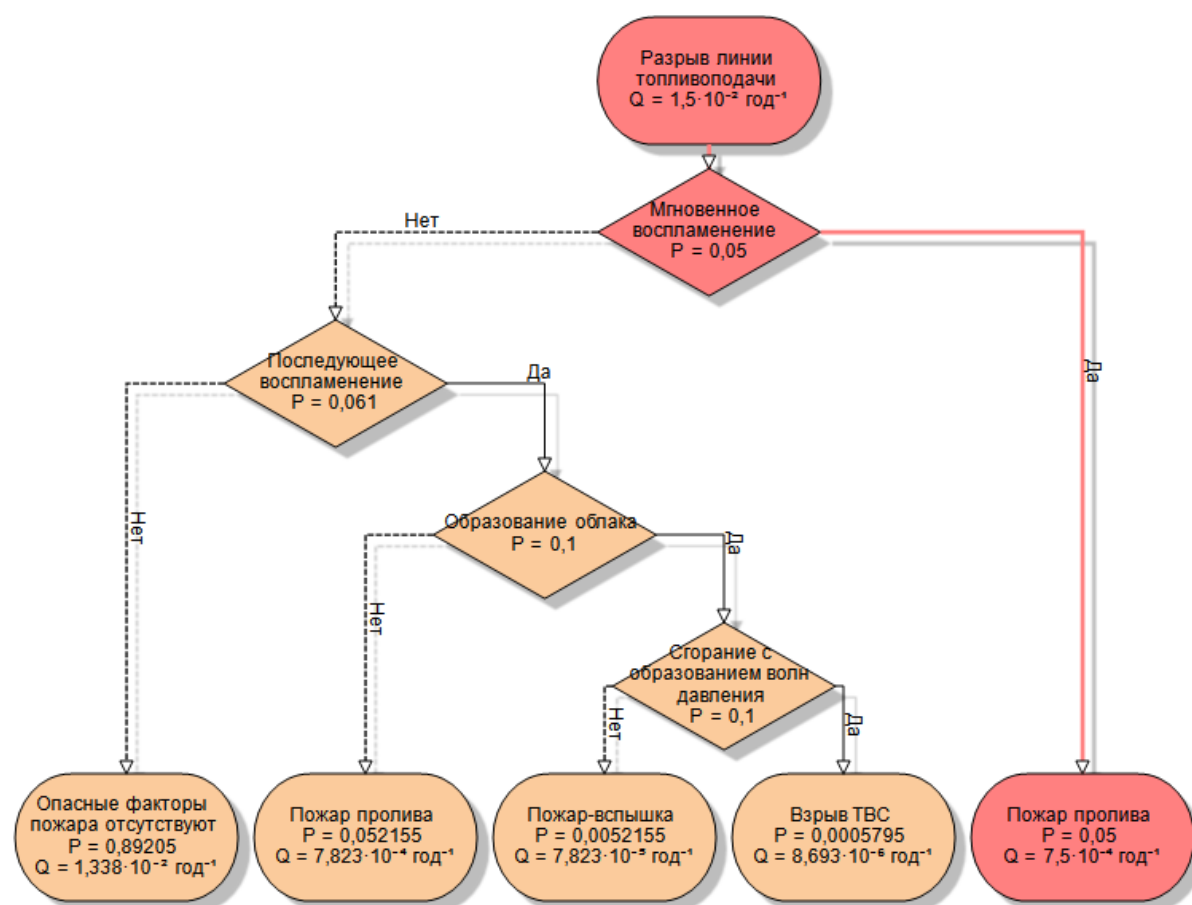


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot (1 - 0,1) = 0,052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,052155 = 7,823 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$

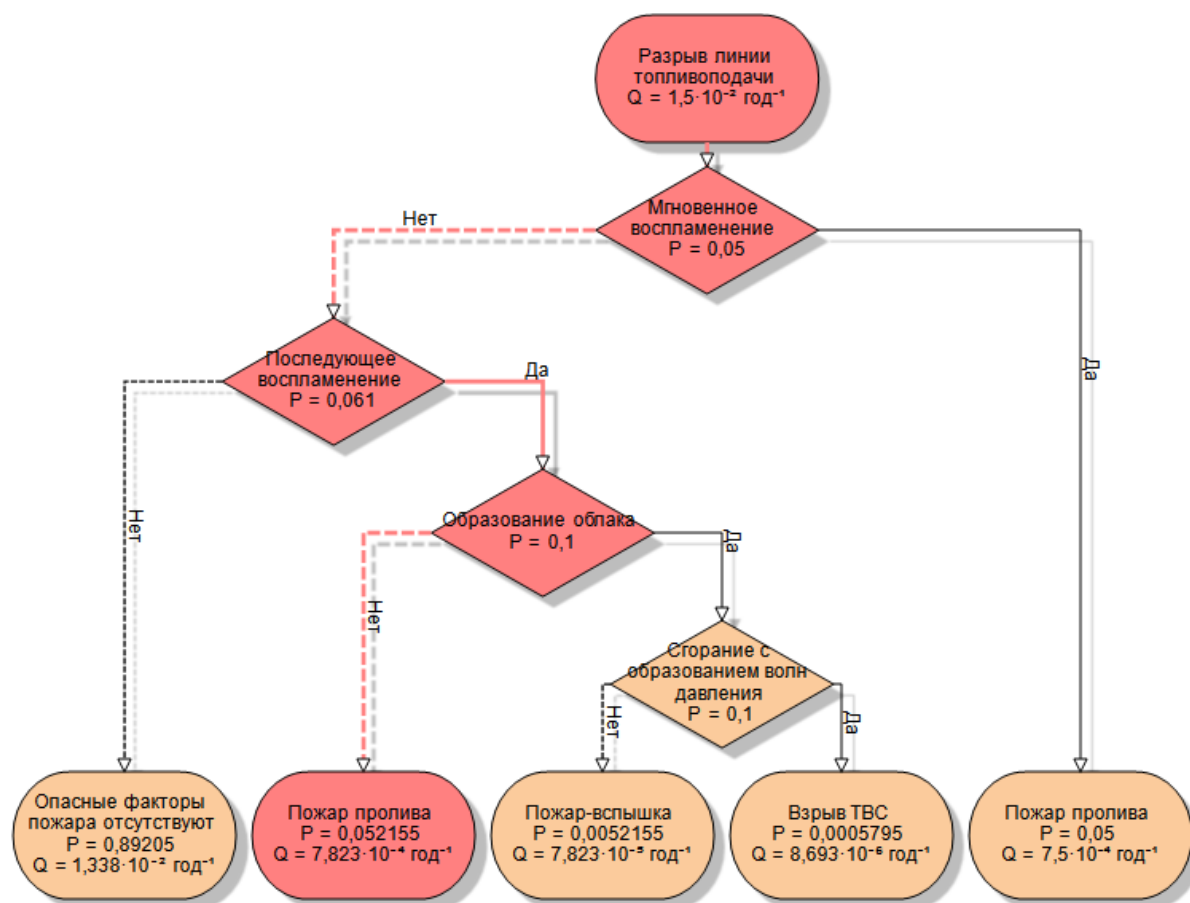


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 9,8 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 5 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

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

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 2,5}{3,419}}} = 4,32.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 4,32^{-0,5} = 0,481;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,481^2} = 0,877.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,5}} \right)^{0,67} \cdot 4,32^{0,21} = 13,4 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 9,8 + 0,5 \cdot 2,5 = 11 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 13,4}{2,5} = 10,64;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 11}{2,5} = 8,73;$$

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

$$= \sqrt{10,64^2 + (8,73 + 1)^2 - 2 \cdot 10,64 \cdot (8,73 + 1) \cdot 0,877} = 5,14;$$

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

$$= \sqrt{10,64^2 + (8,73 - 1)^2 - 2 \cdot 10,64 \cdot (8,73 - 1) \cdot 0,877} = 5,36;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (8,73^2 - 1) \cdot 0,481^2} = 4,29;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

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

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -8,7 \cdot \arctan(0,89) + -8,7 \cdot \left[\frac{10,64^2 + (8,73 + 1)^2 - 2 \cdot 8,73 \cdot (1 + 10,64 \cdot 0,877)}{5,14 \cdot 5,36} \right] \times \right.$$

$$\times \arctan\left(\frac{5,14 \cdot 0,89}{5,36}\right) + \frac{0,481}{4,29} \cdot \left[\arctan\left(\frac{10,64 \cdot 8,73 - 8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29}\right) + \arctan\left(\frac{8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29}\right) \right] \Bigg\} =$$

$$= 0,117.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

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

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,89}\right) + \frac{0,877}{4,29} \cdot \left[\arctan\left(\frac{10,64 \cdot 8,73 - 8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29}\right) + \arctan\left(\frac{8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29}\right) \right] - \right.$$

$$\left. - \left[\frac{10,64^2 + (8,73 + 1)^2 - 2 \cdot 8,73 \cdot (1 + 10,64 \cdot 0,877)}{5,14 \cdot 5,36} \right] \cdot \arctan\left(\frac{5,14 \cdot 0,89}{5,36}\right) \right\} =$$

$$= 0,229.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,117^2 + 0,229^2} = 0,257.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (11 - 0,5 \cdot 2,5)) = 0,993.$$

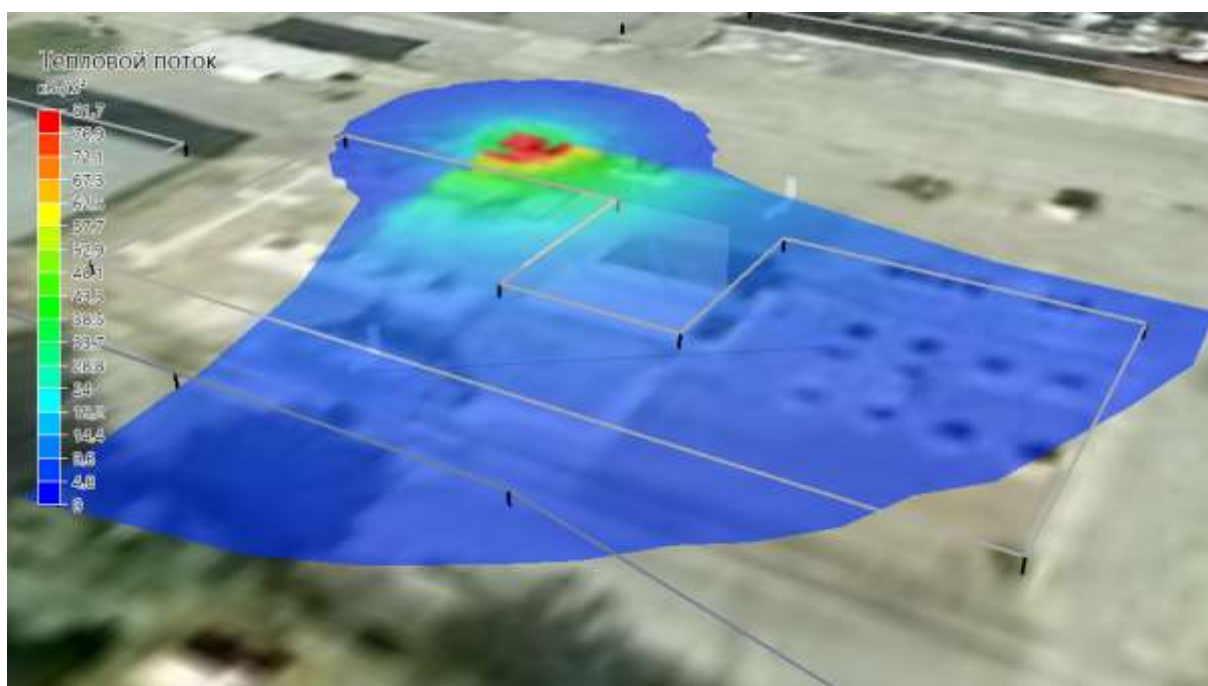
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 2,5} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 2,5}) = 108,7 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

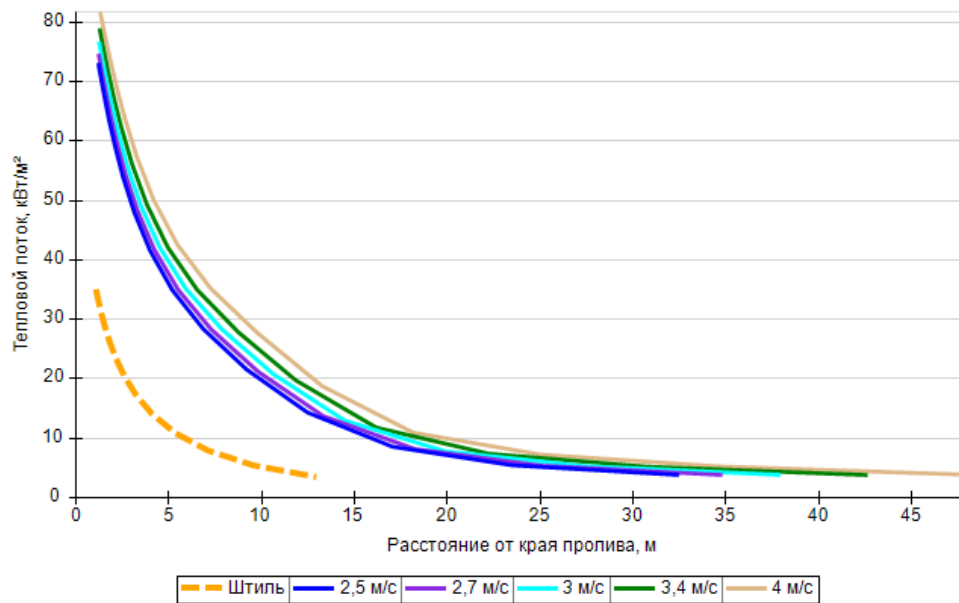
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 108,7 \cdot 0,257 \cdot 0,993 = 27,78 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,0005795.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0005795 = 8,693 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$

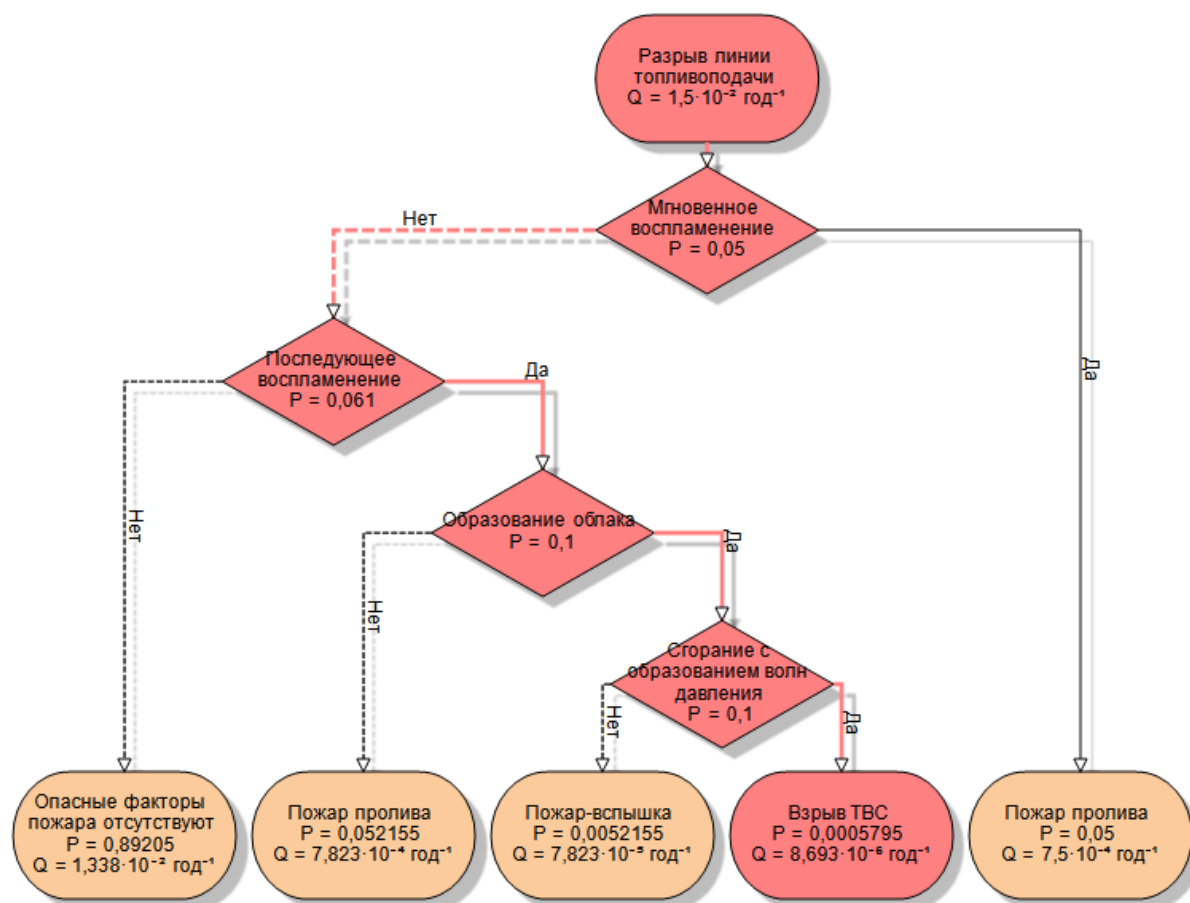


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энергoвыделение:

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

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

$$M_T = m_{ц} \cdot Z = 0,25 \cdot 0,1 = 0,025 \text{ кг.}$$

Эффективный энергoзапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 0,025 \cdot 44 \text{ МДж} = 1,1 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 0,25^{1/6} = 34,1 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 17,3 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{17,3}{(2,2 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 6,19.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{6,19} - \frac{0,14}{6,19^2} \right) \cdot 101000 = 2,443 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

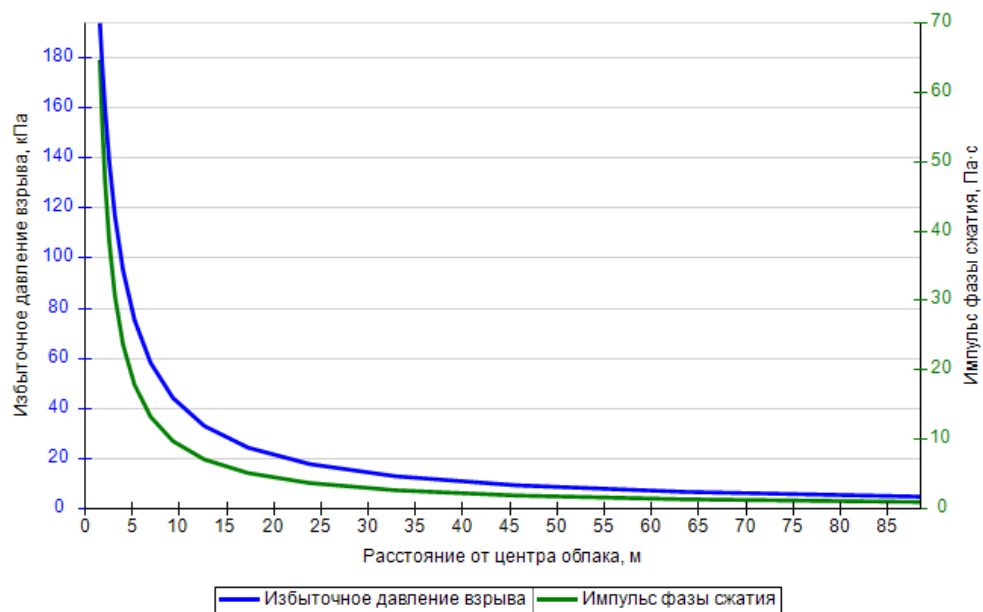
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{6,19} + \frac{0,01}{6,19^2} - \frac{0,0025}{6,19^3} \right) = 0,006; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

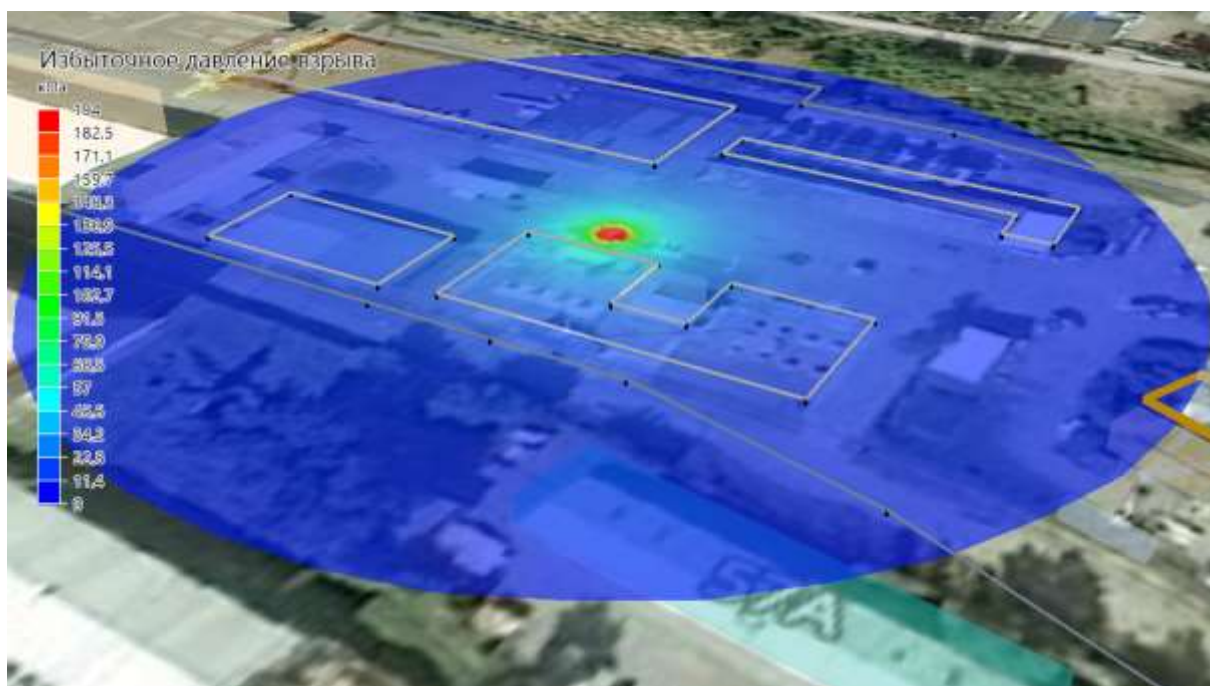
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,006 \cdot 101000^{2/3} \cdot (2,2 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 5,2 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,1) = 0,0052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0052155 = 7,823 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$

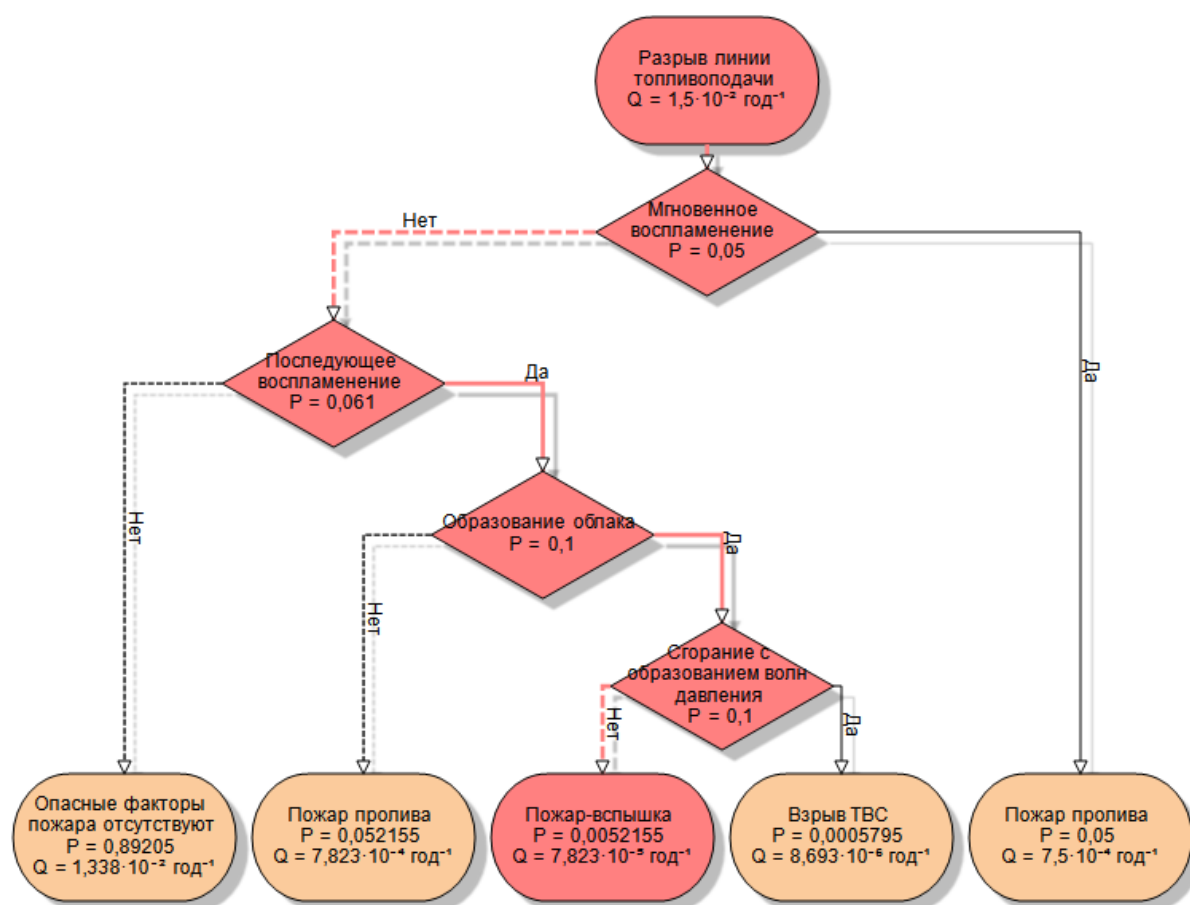


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

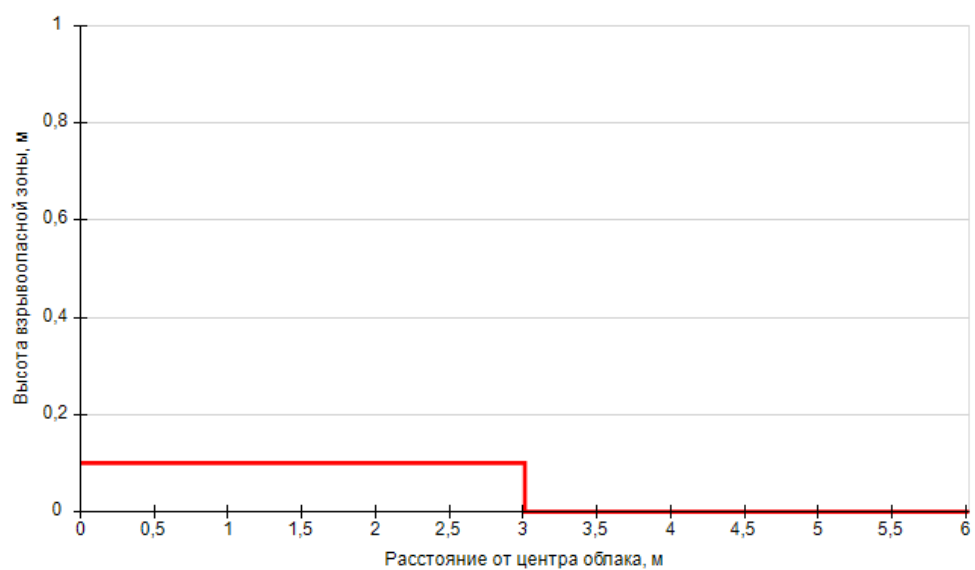
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

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

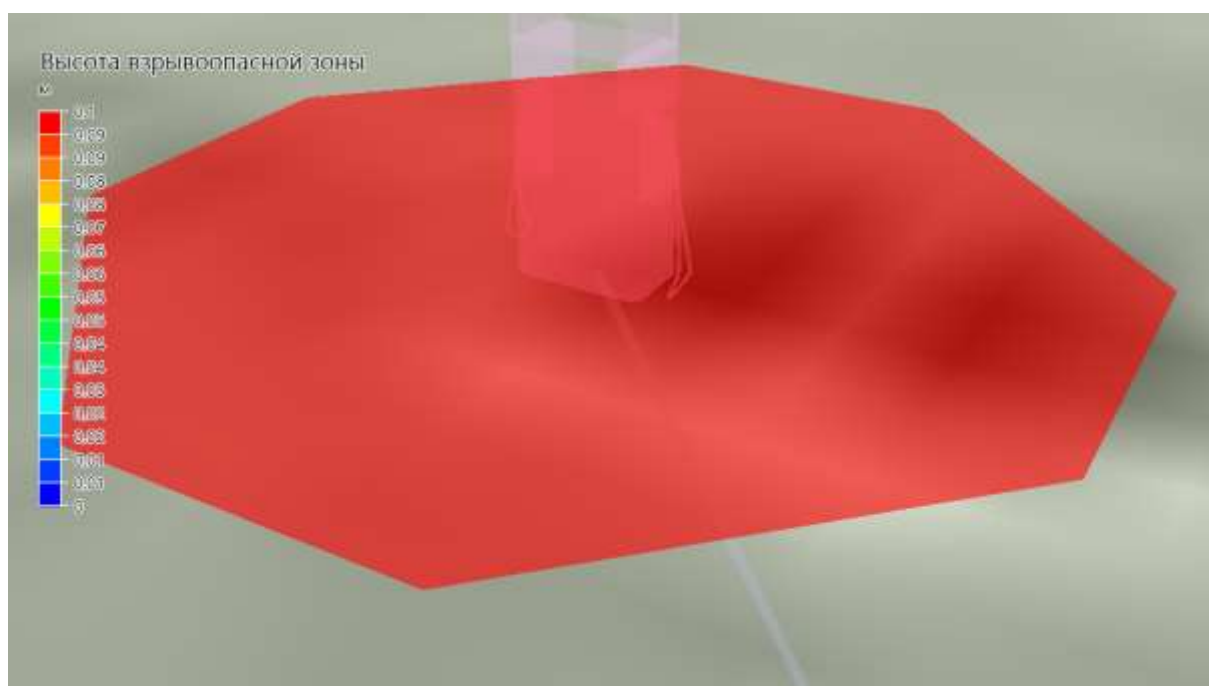
$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{0,25}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 3 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{0,25}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,1 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.4. Розлив растворителей 01 - секция_1

5.4.1. Разрыв линии топливоподачи

5.5. Ж/д цистерна (сольвент)

5.5.1. Разгерметизация 25 мм

5.5.2. Разгерметизация 100 мм

5.5.3. Разрушение

5.5.4. Пожар по всей поверхности

5.6. Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)

5.6.1. Разгерметизация 5 мм

5.6.2. Разгерметизация 15 мм

5.6.3. Разрушение

5.7. PBC_01

5.7.1. Разгерметизация 25 мм

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,015$.

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,015 = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

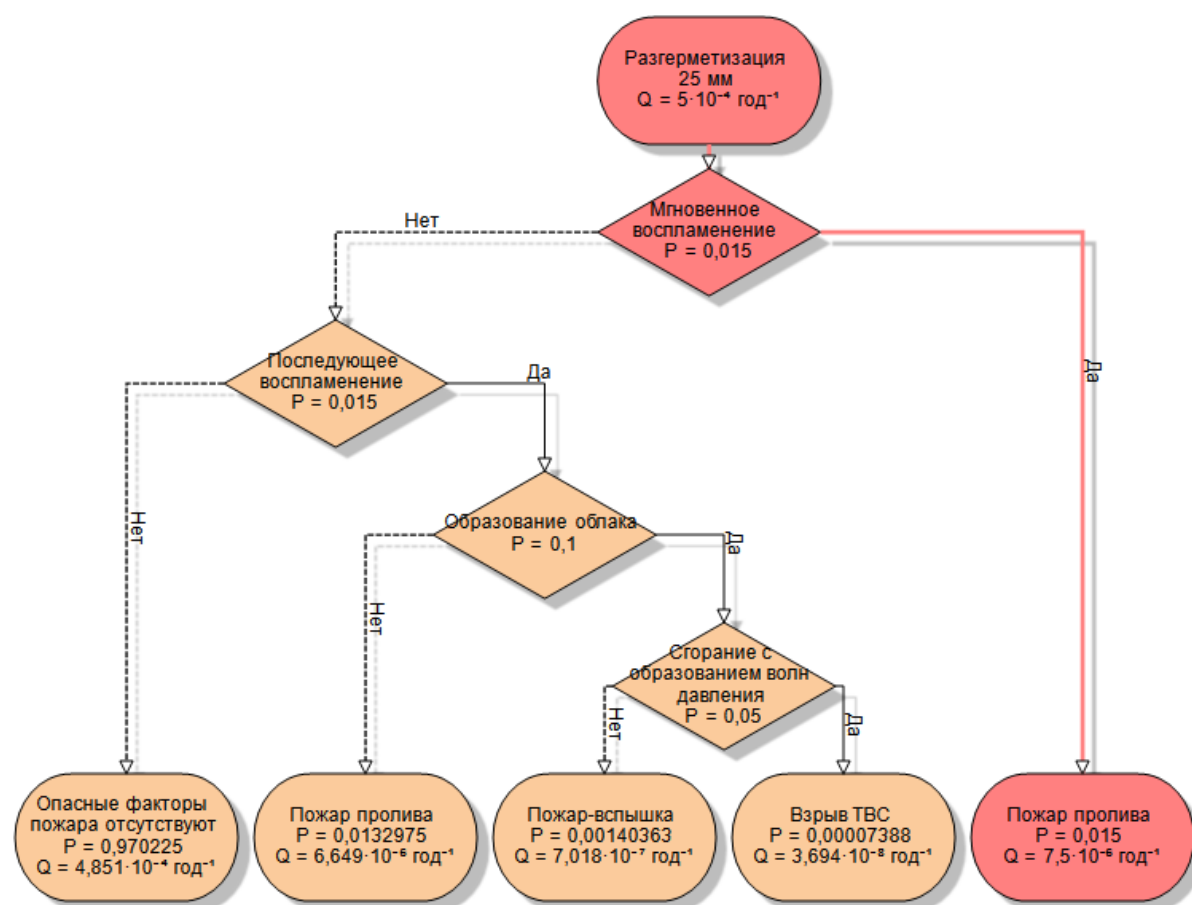


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,015) \cdot 0,015 \cdot (1 - 0,1) = 0,0132975.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0132975 = 6,649 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$

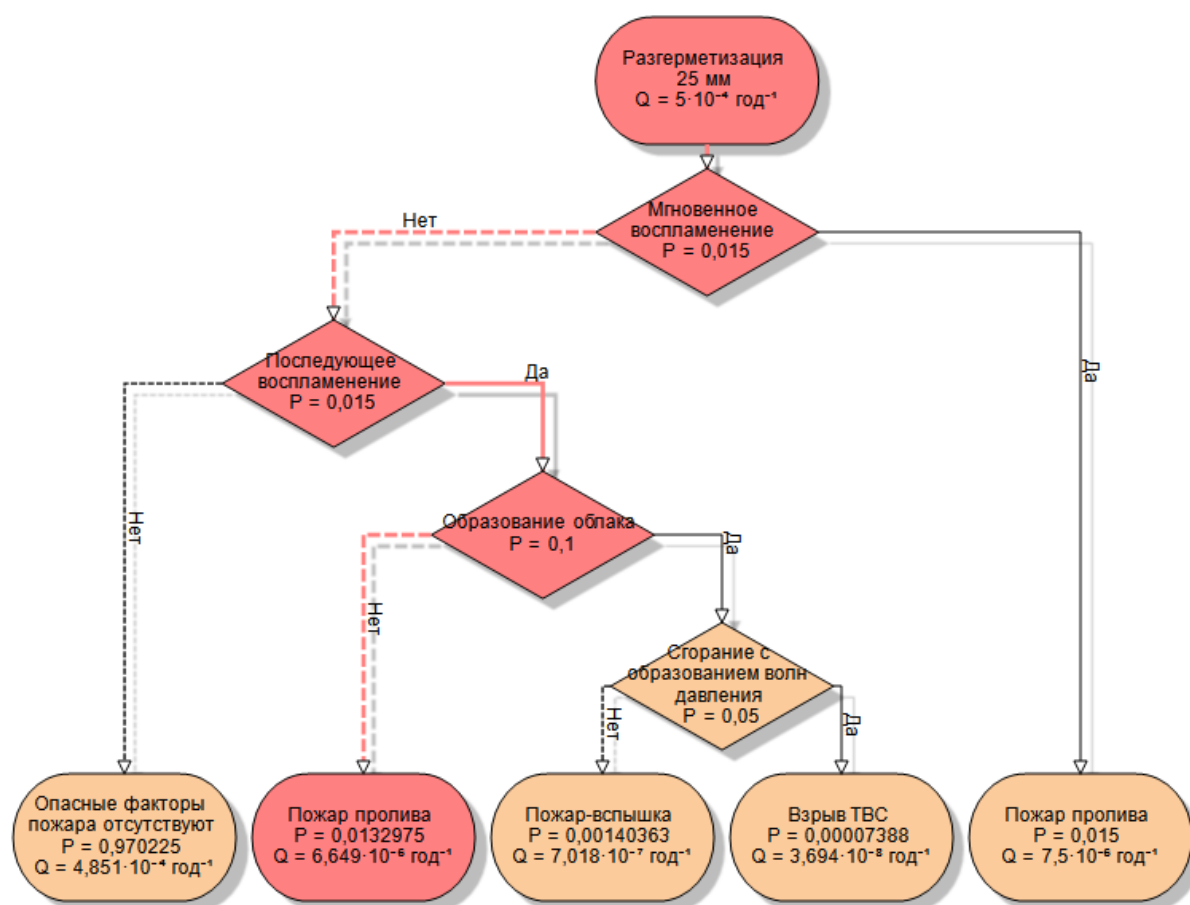


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 12,8 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 266 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{266 \cdot \pi}} = 18,4 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 18,4}{3,419}}} = 2,23.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 2,23^{-0,5} = 0,67;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,67^2} = 0,742.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 18,4 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 18,4}} \right)^{0,67} \cdot 2,23^{0,21} = 43,8 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 12,8 + 0,5 \cdot 18,4 = 22 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 43,8}{18,4} = 4,76;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 22}{18,4} = 2,39;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,76^2 + (2,39 + 1)^2 - 2 \cdot 4,76 \cdot (2,39 + 1) \cdot 0,742} = 3,19;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,76^2 + (2,39 - 1)^2 - 2 \cdot 4,76 \cdot (2,39 - 1) \cdot 0,742} = 3,84;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (2,39^2 - 1) \cdot 0,67^2} = 1,77;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ - - 2,8 \cdot \arctan(0,64) + - 2,8 \cdot \left[\frac{4,76^2 + (2,39 + 1)^2 - 2 \cdot 2,39 \cdot (1 + 4,76 \cdot 0,742)}{3,19 \cdot 3,84} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left(\frac{3,19 \cdot 0,64}{3,84} \right) + \frac{0,67}{1,77} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,76 \cdot 2,39 - 2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) + \arctan \left(\frac{2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) \right] \right\} = \\ = 0,288.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,64} \right) + \frac{0,742}{1,77} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,76 \cdot 2,39 - 2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) + \arctan \left(\frac{2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{4,76^2 + (2,39 + 1)^2 - 2 \cdot 2,39 \cdot (1 + 4,76 \cdot 0,742)}{3,19 \cdot 3,84} \right] \cdot \arctan \left(\frac{3,19 \cdot 0,64}{3,84} \right) \right\} = \\ = 0,482.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,288^2 + 0,482^2} = 0,562.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (22 - 0,5 \cdot 18,4)) = 0,991.$$

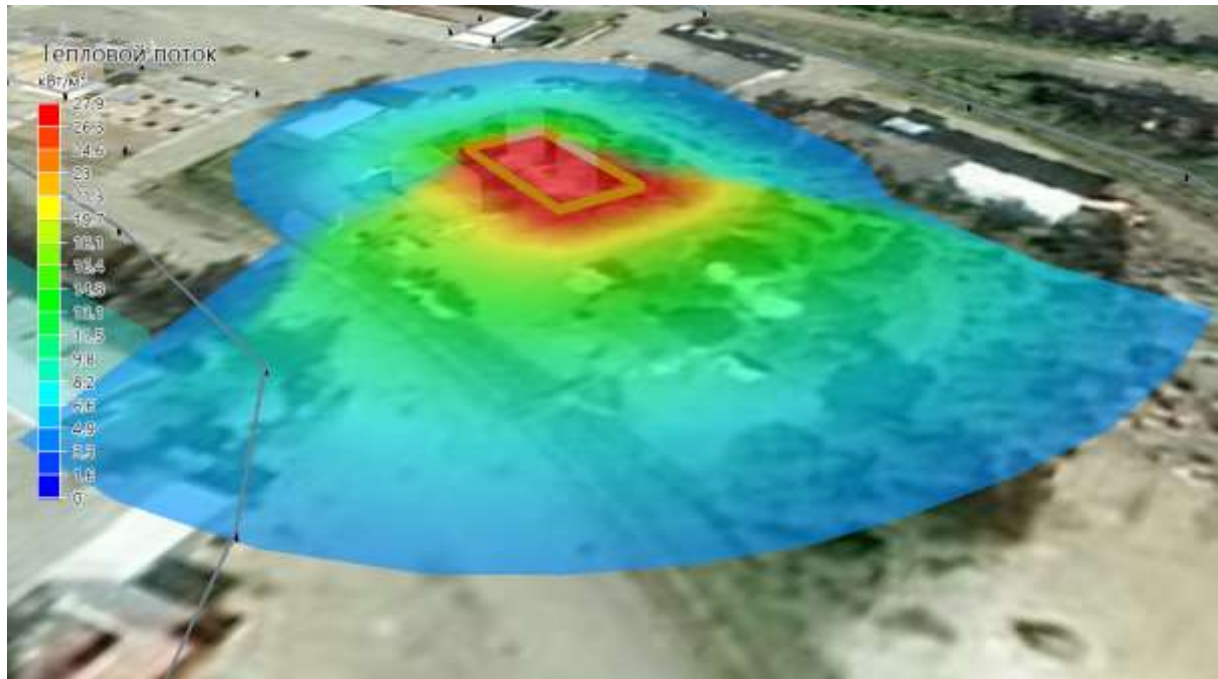
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 18,4} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 18,4}) = 33,2 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

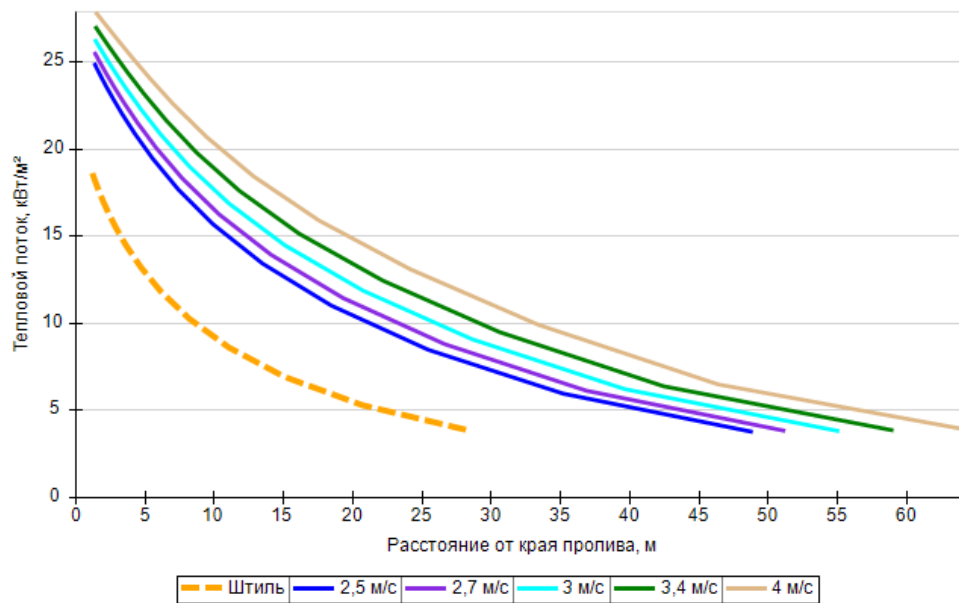
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 33,2 \cdot 0,562 \cdot 0,991 = 18,48 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,015) \cdot 0,015 \cdot 0,1 \cdot 0,05 = 0,00007388.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00007388 = 3,694 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$

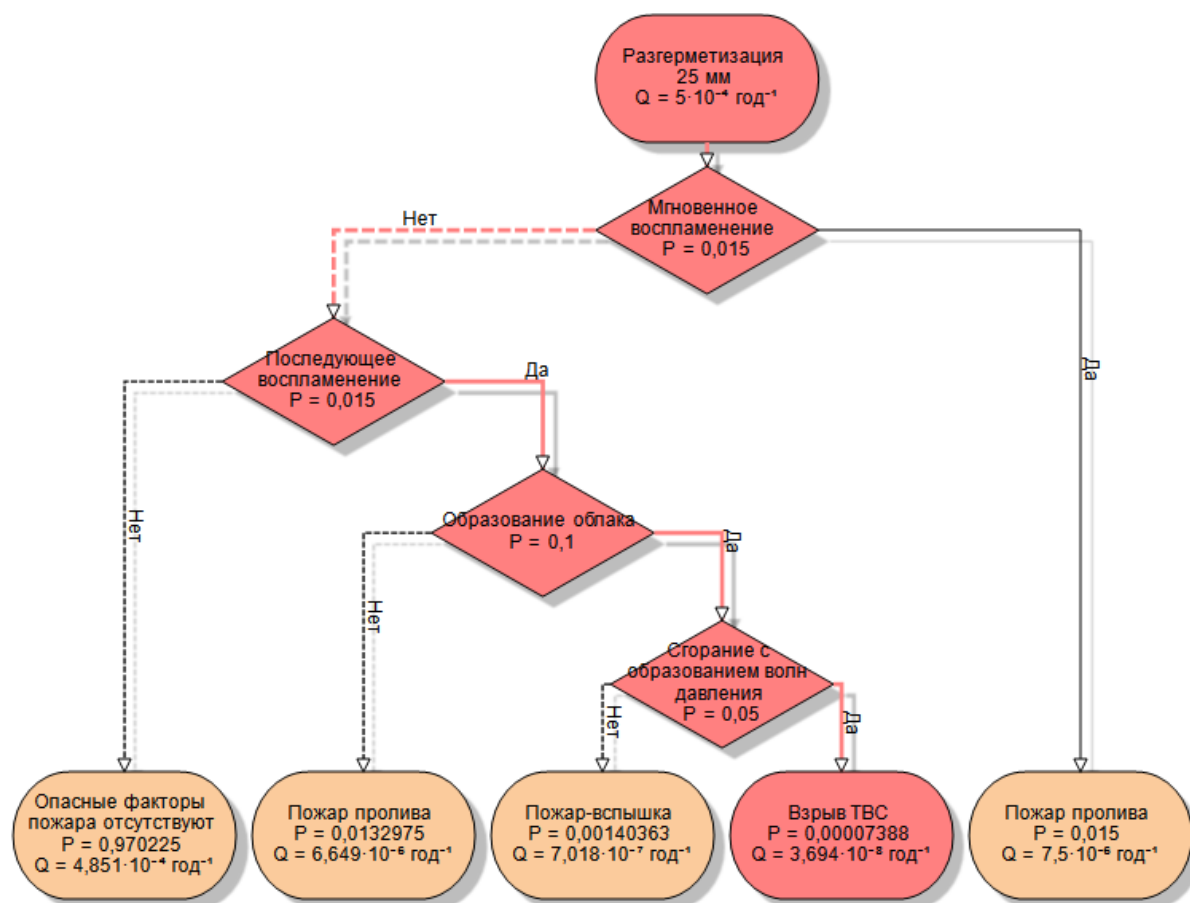


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энерговыделение:

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

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

$$M_T = m_{\pi} \cdot Z = 13,277 \cdot 0,1 = 1,328 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 1,328 \cdot 44 \text{ МДж} = 58,42 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 58,42 \cdot 2 = 116,83 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 13,277^{1/6} = 66,2 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 61,7 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{61,7}{(116,83 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 5,88.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{5,88} - \frac{0,14}{5,88^2} \right) \cdot 101000 = 2,567 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

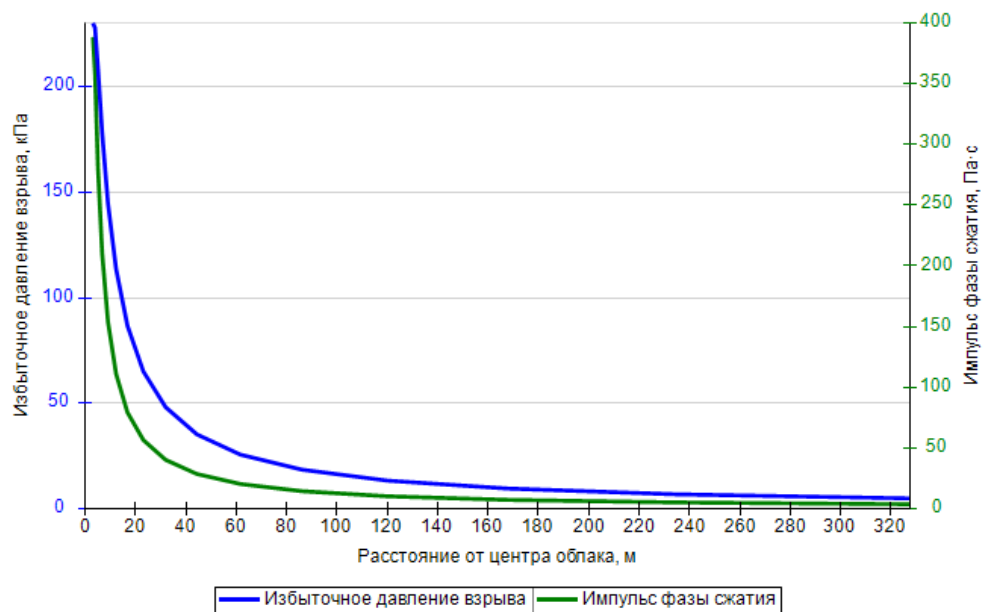
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{5,88} + \frac{0,01}{5,88^2} - \frac{0,0025}{5,88^3} \right) = 0,007; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

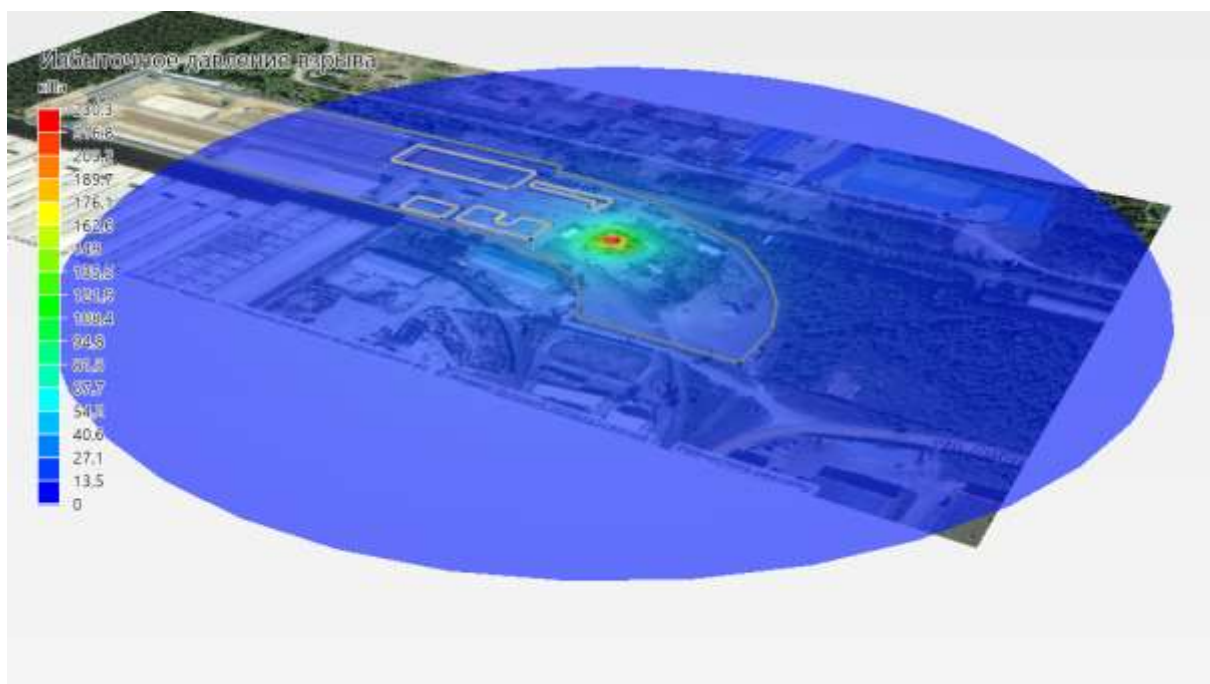
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,007 \cdot 101000^{2/3} \cdot (116,83 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 20,4 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,015) \cdot 0,015 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,05) = 0,00140363.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00140363 = 7,018 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$

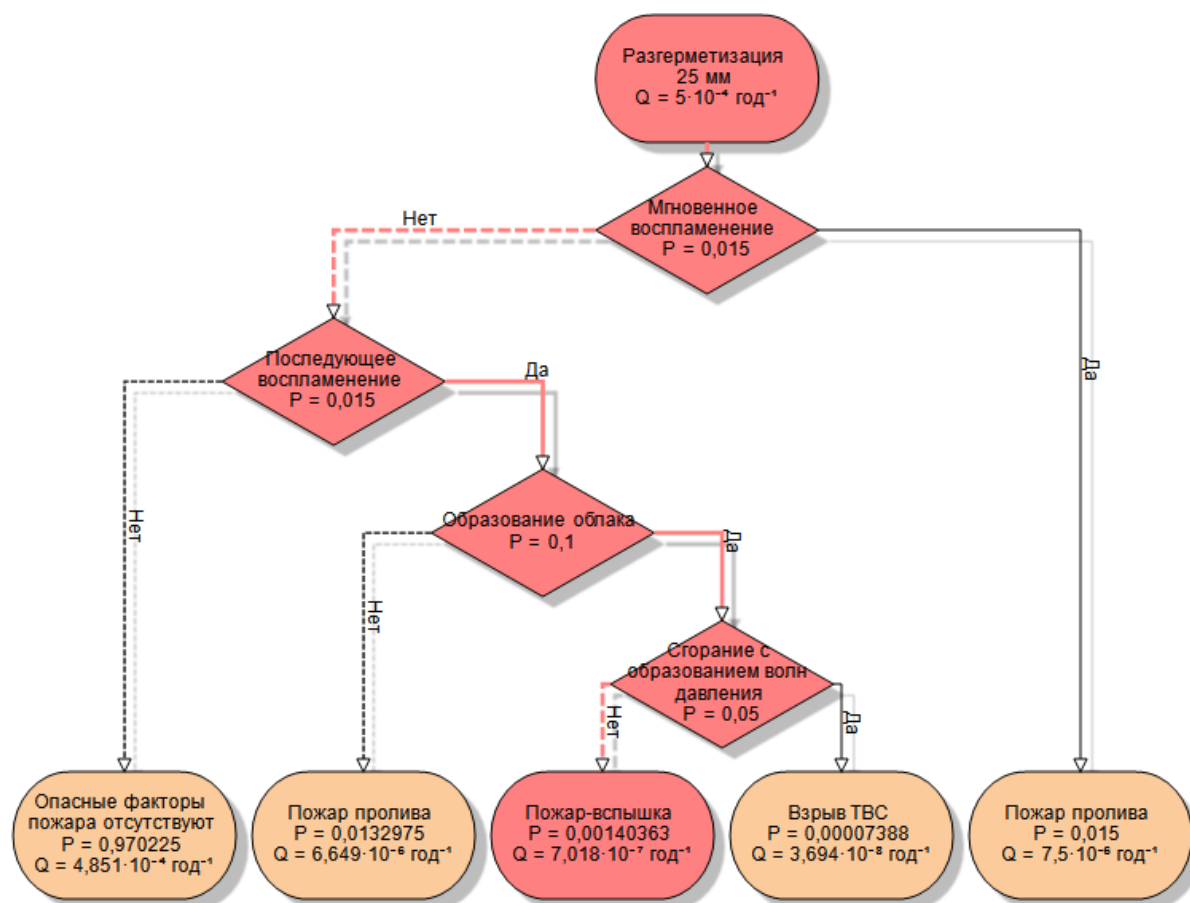


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

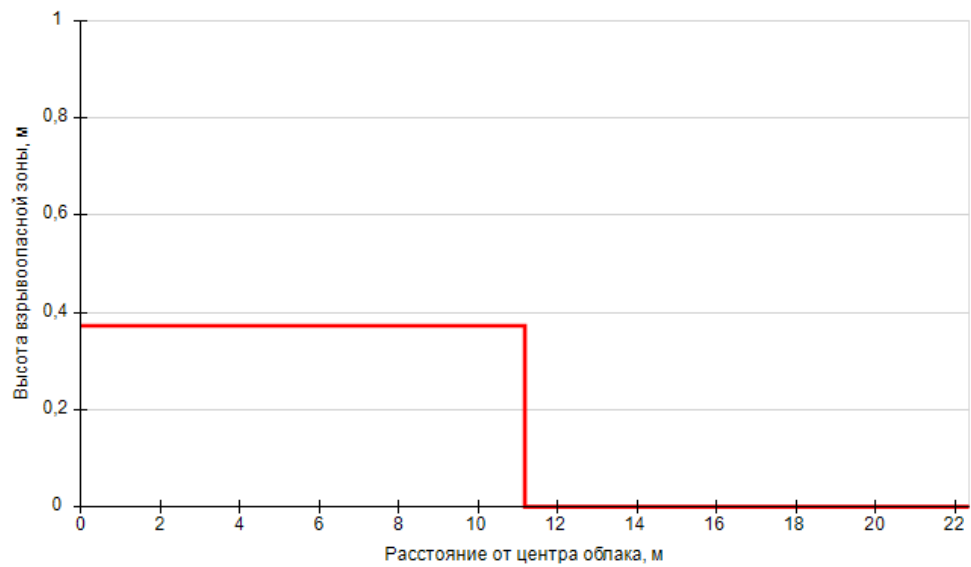
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

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

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{13,277}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 11,2 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{13,277}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,37 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.7.2. Разгерметизация 100 мм

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,04$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

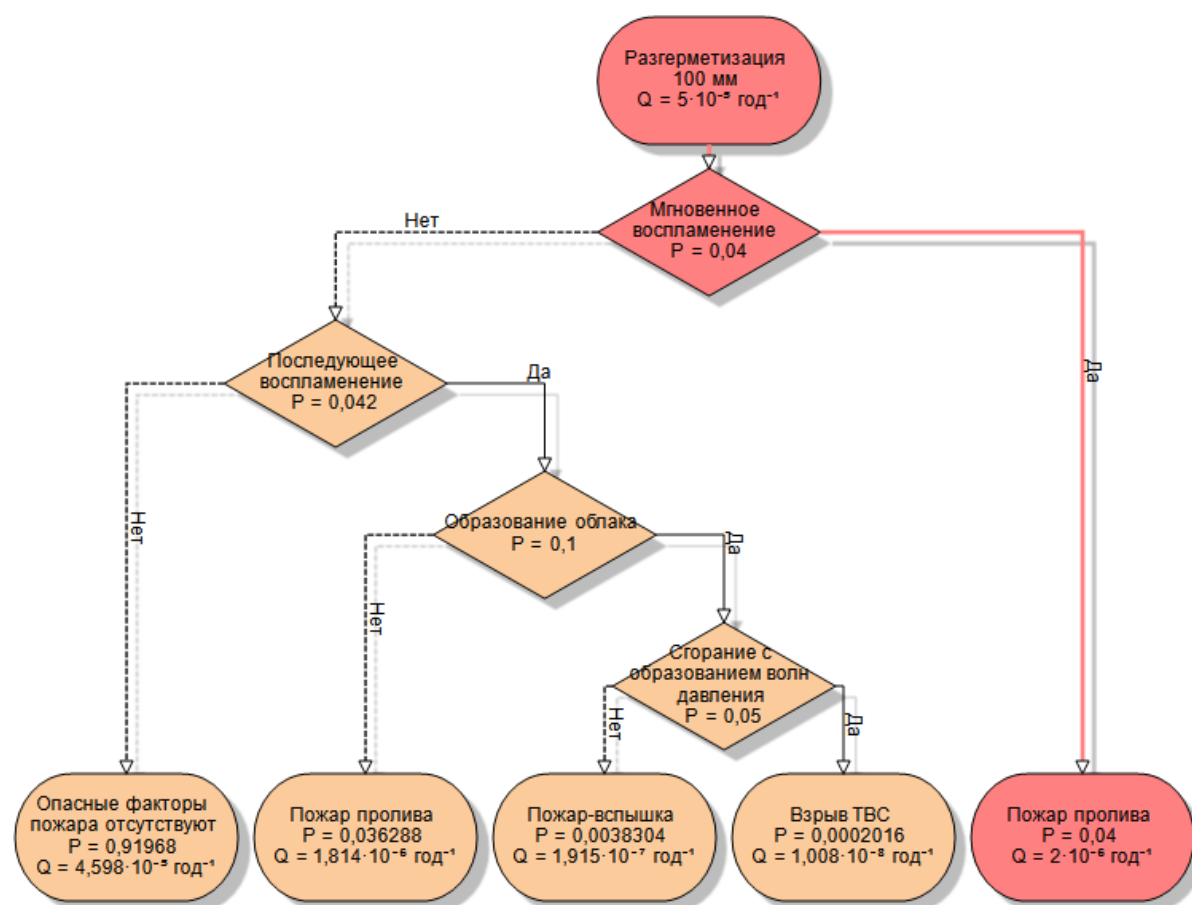


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,04) \cdot 0,042 \cdot (1 - 0,1) = 0,036288.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,036288 = 1,814 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$

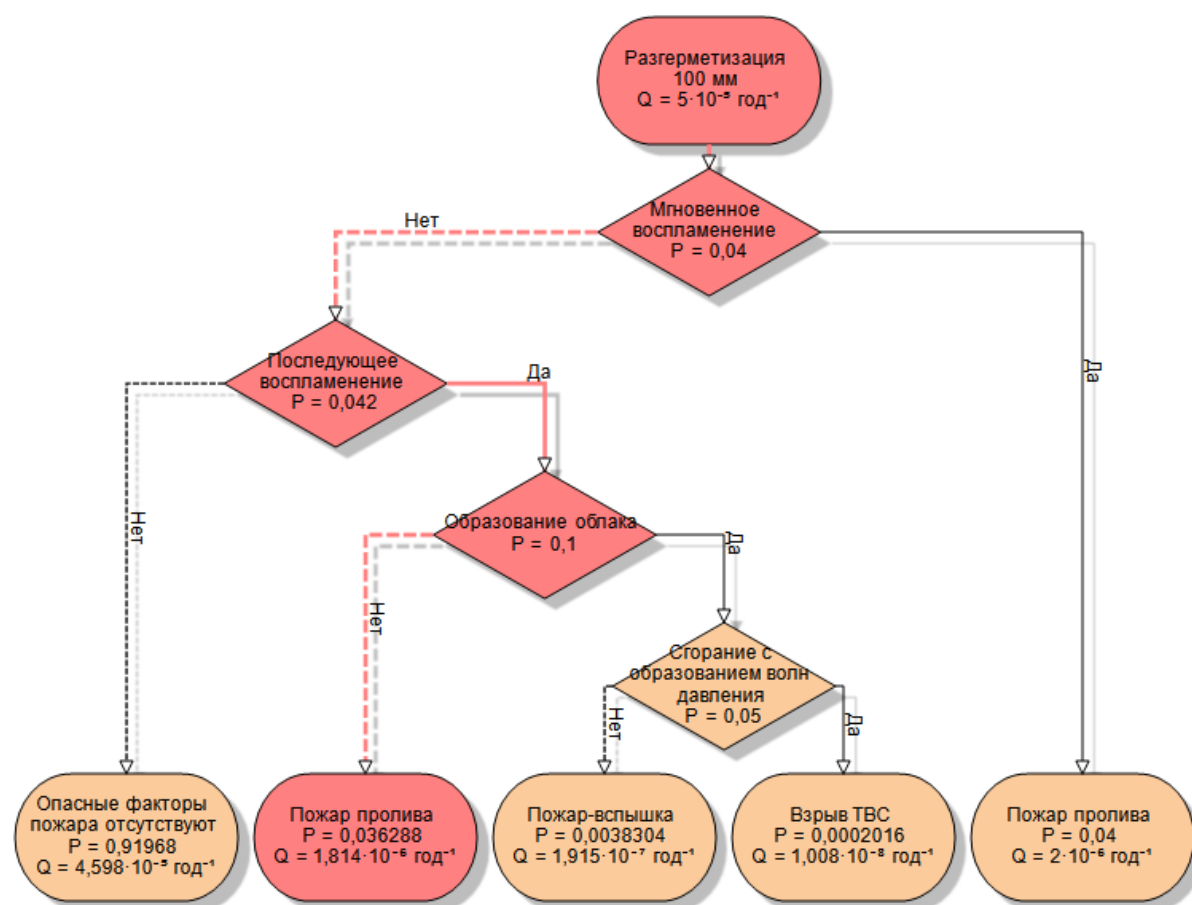


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 12,8 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 266 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{266 \cdot \pi}} = 18,4 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 18,4}{3,419}}} = 2,23.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 2,23^{-0,5} = 0,67;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,67^2} = 0,742.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 18,4 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 18,4}} \right)^{0,67} \cdot 2,23^{0,21} = 43,8 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 12,8 + 0,5 \cdot 18,4 = 22 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 43,8}{18,4} = 4,76;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 22}{18,4} = 2,39;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,76^2 + (2,39+1)^2 - 2 \cdot 4,76 \cdot (2,39+1) \cdot 0,742} = 3,19;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,76^2 + (2,39-1)^2 - 2 \cdot 4,76 \cdot (2,39-1) \cdot 0,742} = 3,84;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (2,39^2 - 1) \cdot 0,67^2} = 1,77;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ - - 2,8 \cdot \arctan(0,64) + - 2,8 \cdot \left[\frac{4,76^2 + (2,39+1)^2 - 2 \cdot 2,39 \cdot (1 + 4,76 \cdot 0,742)}{3,19 \cdot 3,84} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left(\frac{3,19 \cdot 0,64}{3,84} \right) + \frac{0,67}{1,77} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,76 \cdot 2,39 - 2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) + \arctan \left(\frac{2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) \right] \right\} = \\ = 0,288.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,64} \right) + \frac{0,742}{1,77} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,76 \cdot 2,39 - 2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) + \arctan \left(\frac{2,17^2 \cdot 0,742}{2,17 \cdot 1,77} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{4,76^2 + (2,39+1)^2 - 2 \cdot 2,39 \cdot (1 + 4,76 \cdot 0,742)}{3,19 \cdot 3,84} \right] \cdot \arctan \left(\frac{3,19 \cdot 0,64}{3,84} \right) \right\} = \\ = 0,482.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,288^2 + 0,482^2} = 0,562.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (22 - 0,5 \cdot 18,4)) = 0,991.$$

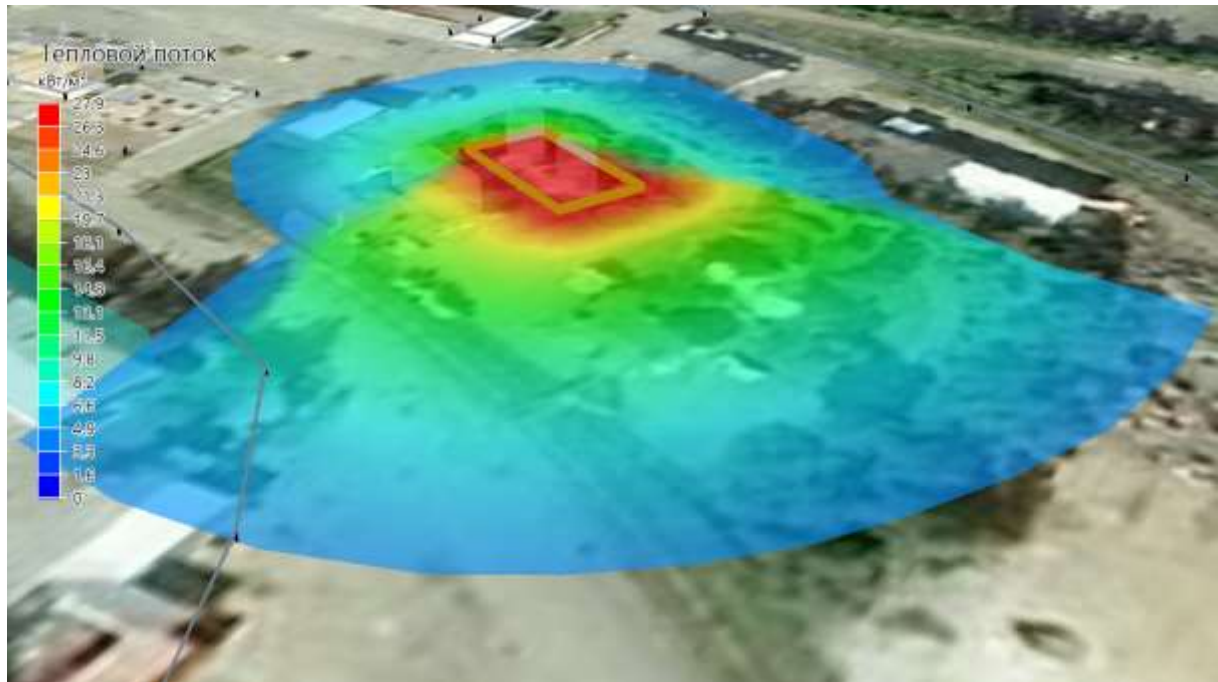
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 18,4} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 18,4}) = 33,2 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

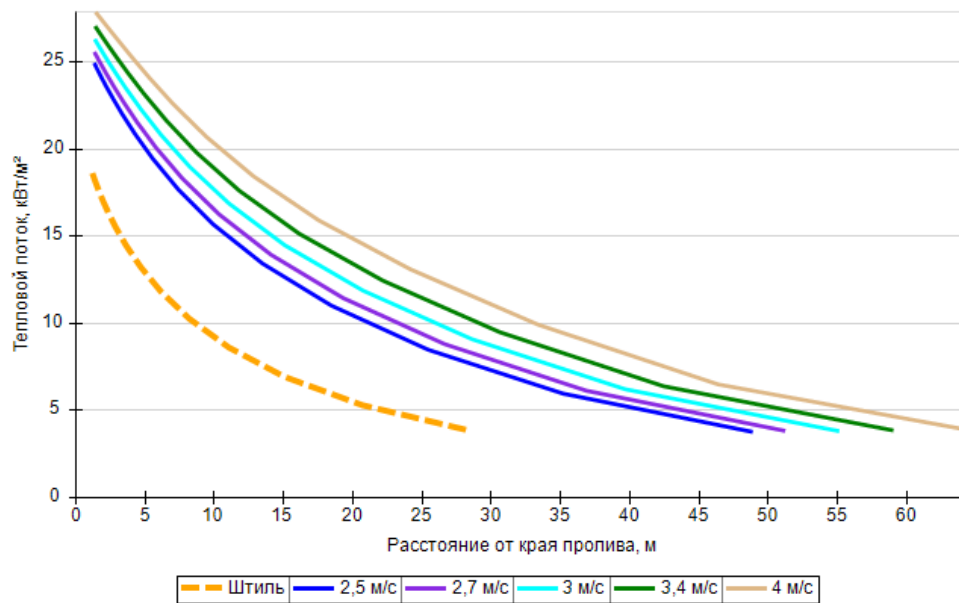
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 33,2 \cdot 0,562 \cdot 0,991 = 18,48 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,04) \cdot 0,042 \cdot 0,1 \cdot 0,05 = 0,0002016.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0002016 = 1,008 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$

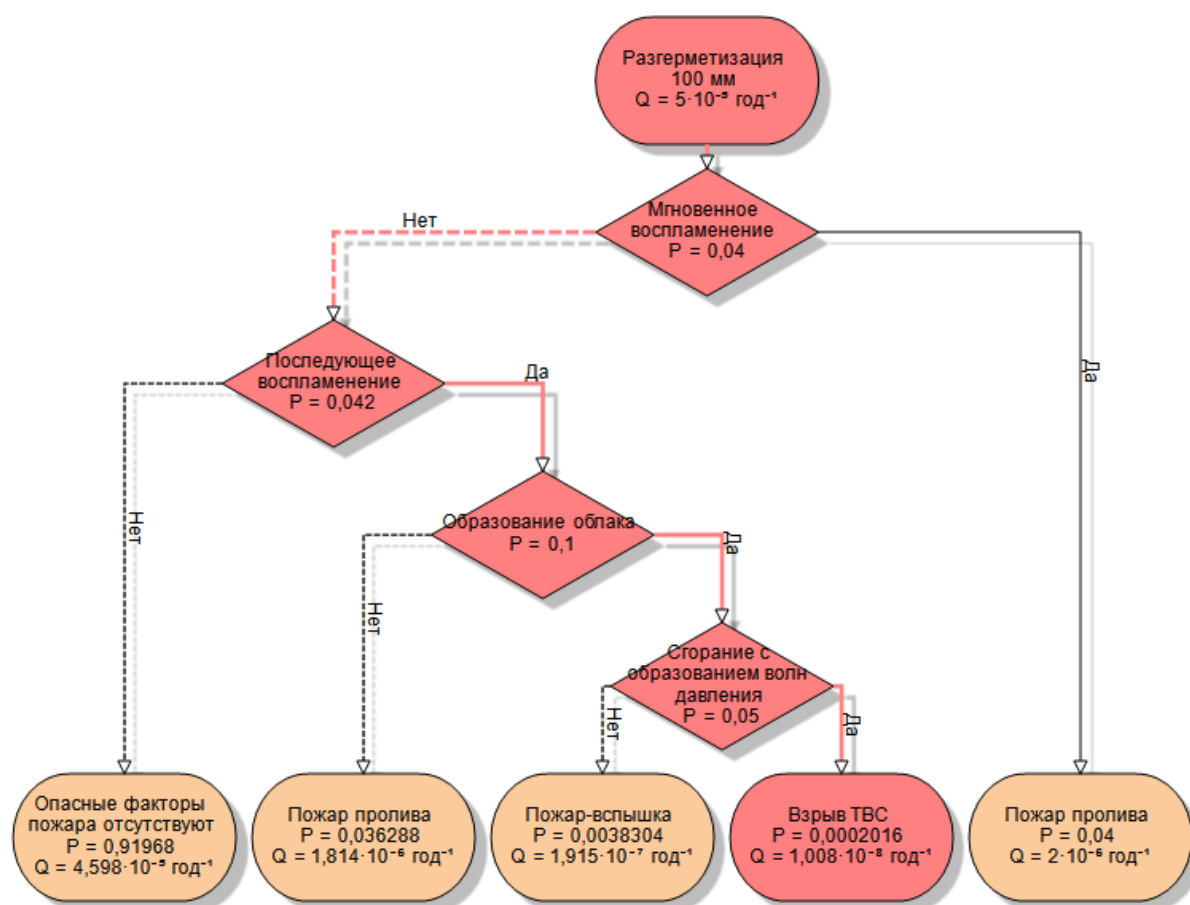


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энергосодержание:

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

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

$$M_T = m_{\pi} \cdot Z = 13,277 \cdot 0,1 = 1,328 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 1,328 \cdot 44 \text{ МДж} = 58,42 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 58,42 \cdot 2 = 116,83 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 13,277^{1/6} = 66,2 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 61,7 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{61,7}{(116,83 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 5,88.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{5,88} - \frac{0,14}{5,88^2} \right) \cdot 101000 = 2,567 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

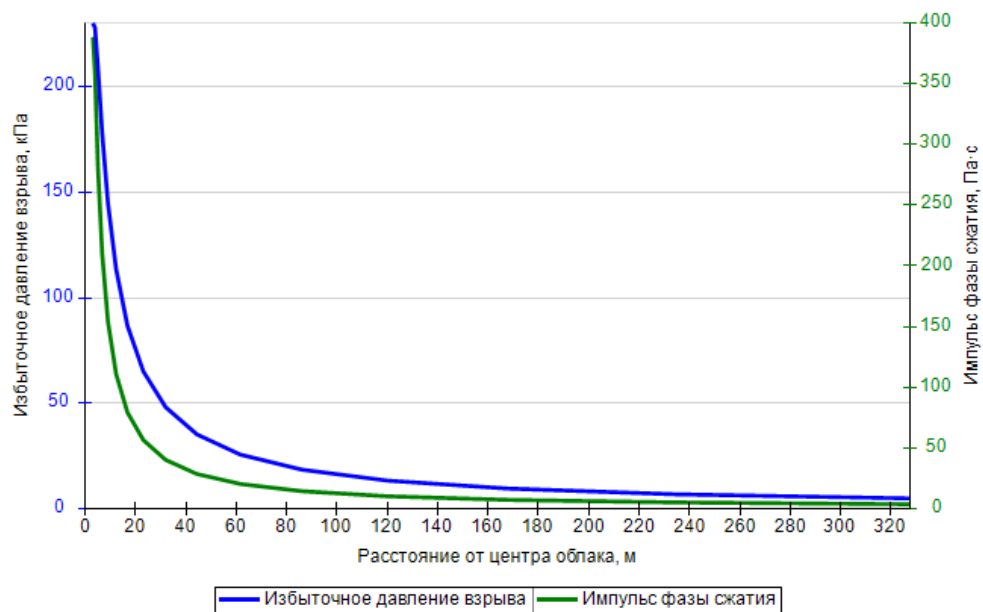
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{5,88} + \frac{0,01}{5,88^2} - \frac{0,0025}{5,88^3} \right) = 0,007; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

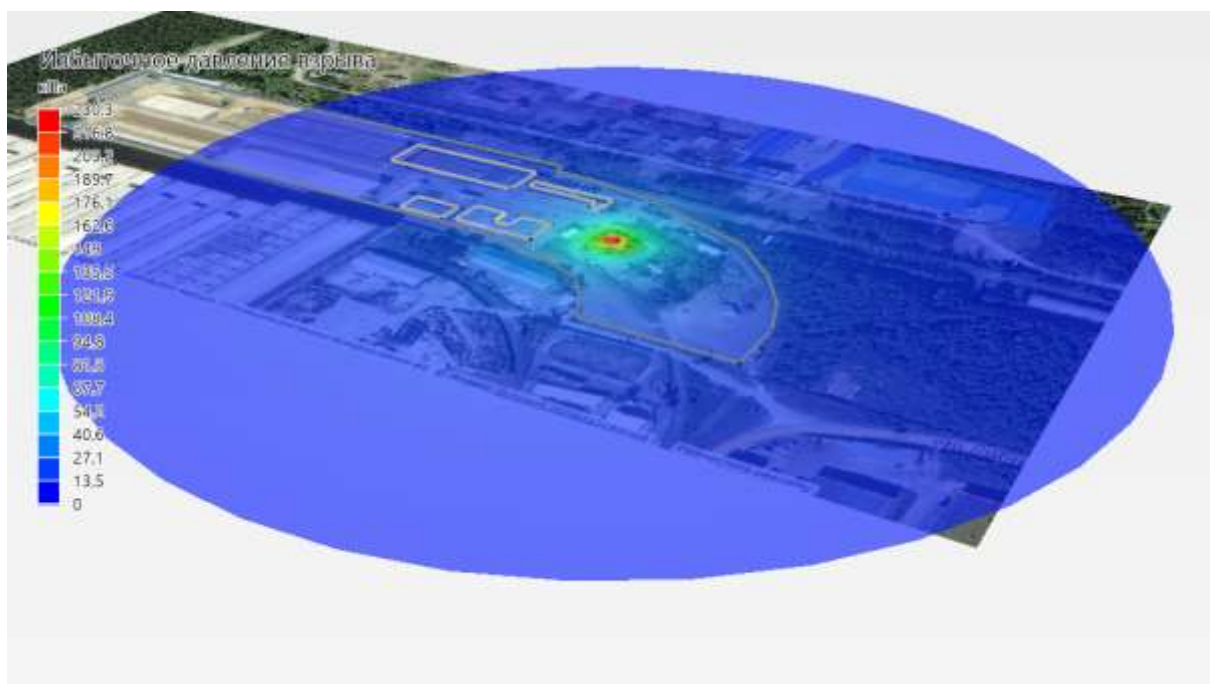
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,007 \cdot 101000^{2/3} \cdot (116,83 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 20,4 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,04) \cdot 0,042 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,05) = 0,0038304.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0038304 = 1,915 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$

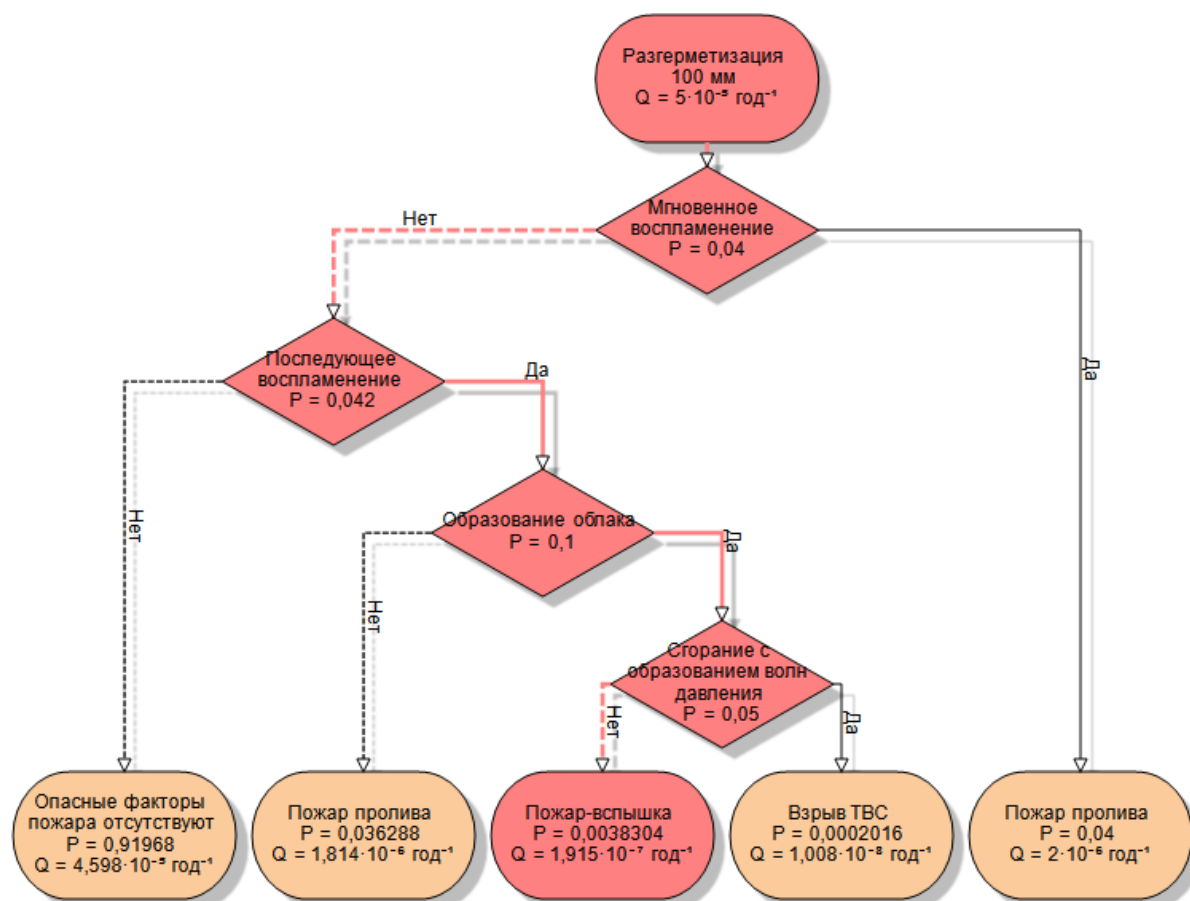


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

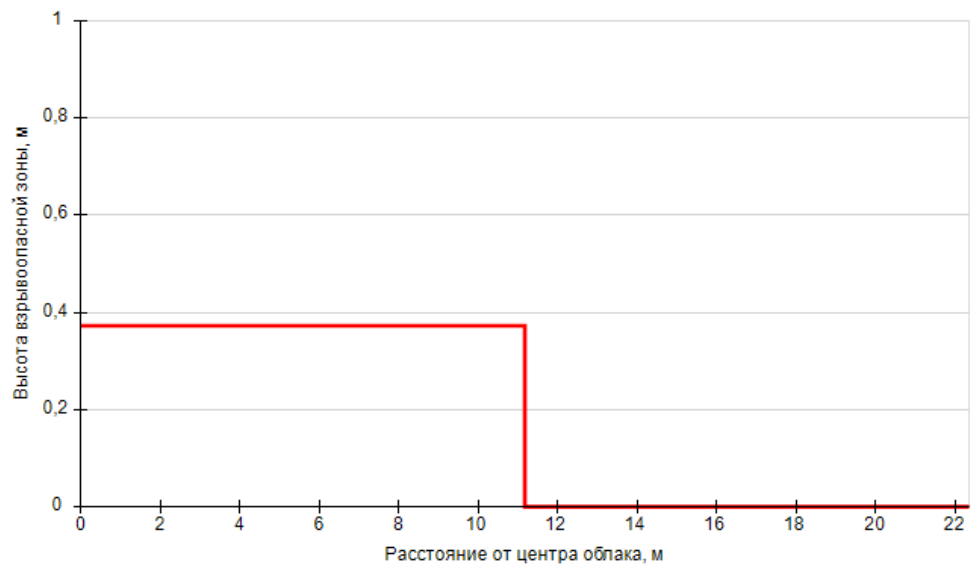
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

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

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{13,277}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 11,2 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{13,277}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,37 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.7.3. Разрушение

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,05$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$.

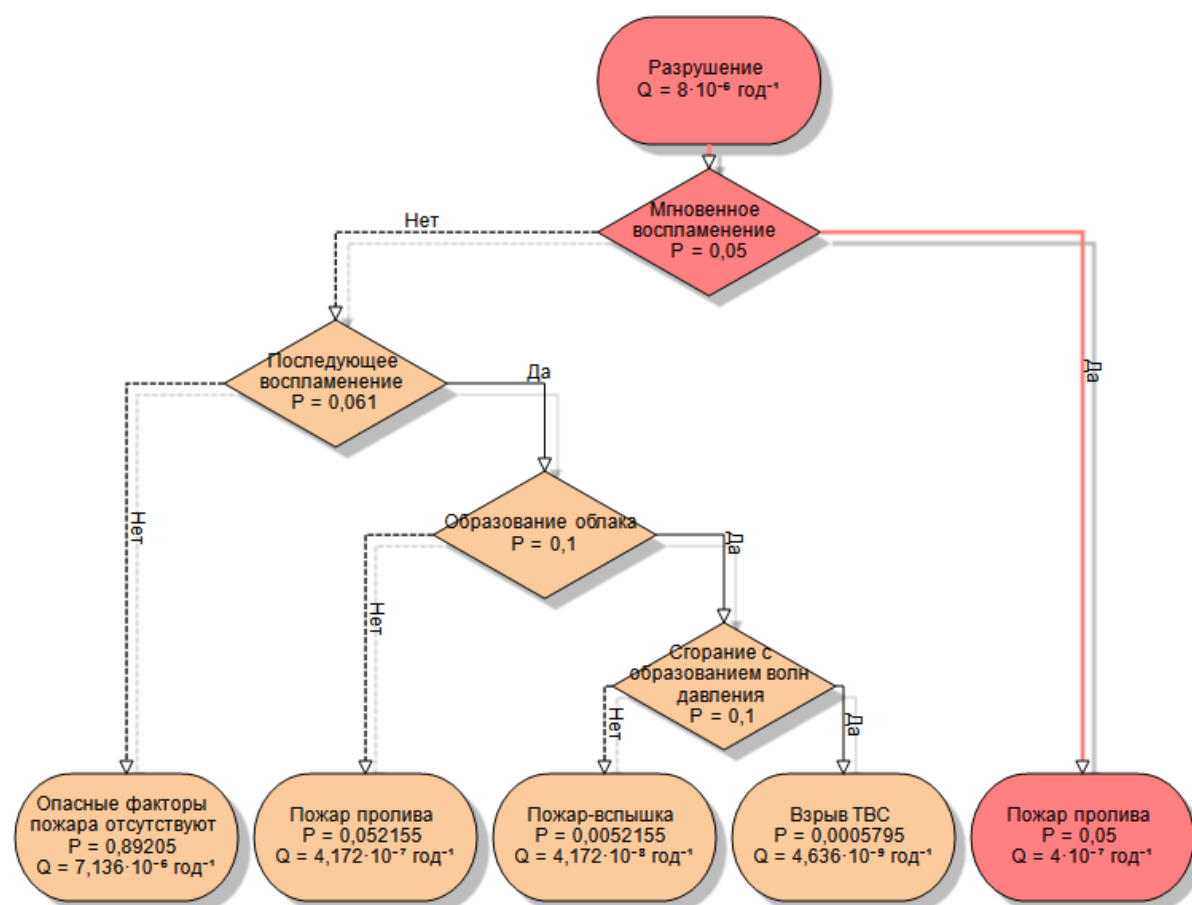


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot (1 - 0,1) = 0,052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,052155 = 4,172 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$

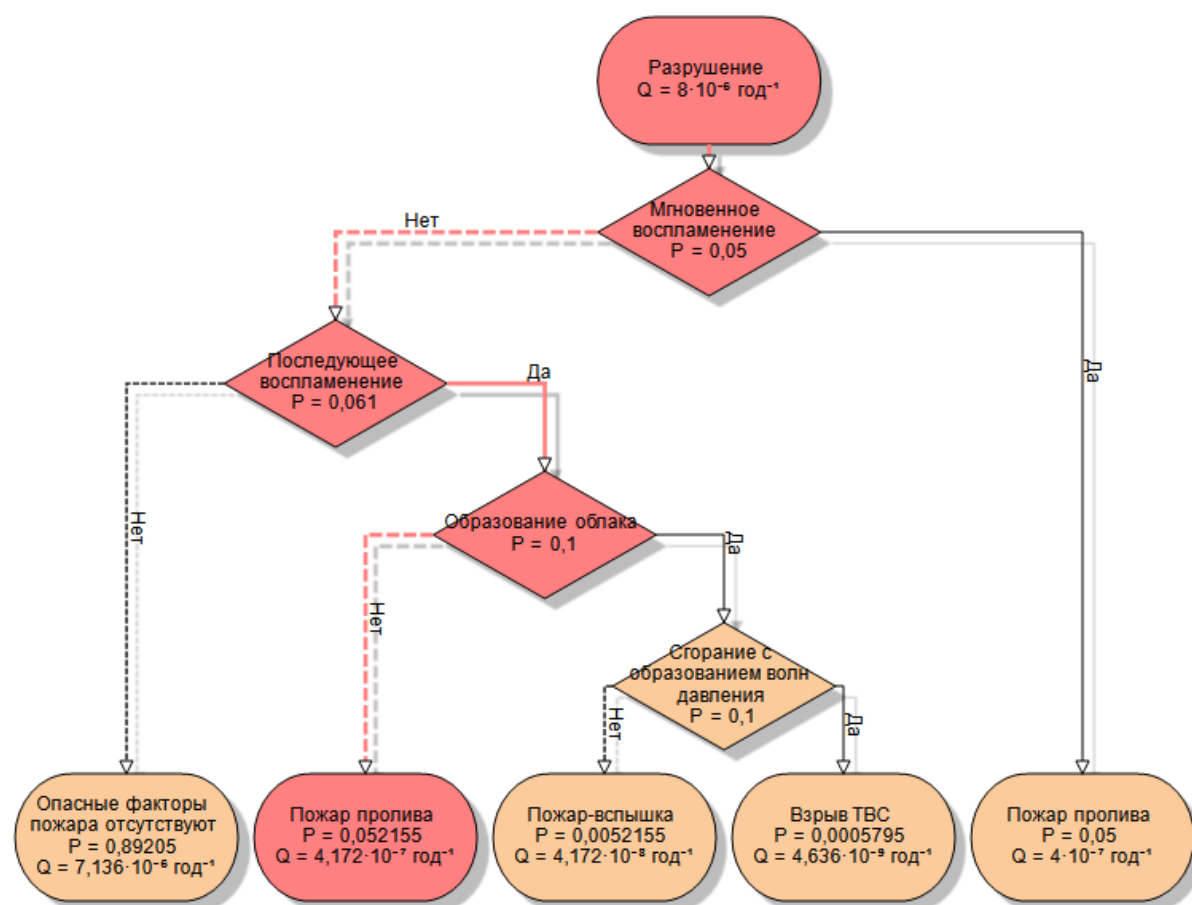


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 15,1 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 1206 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{1206 \cdot \pi}} = 39,2 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 39,2}{3,419}}} = 1,73.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 1,73^{-0,5} = 0,76;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,76^2} = 0,65.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 39,2 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 39,2}} \right)^{0,67} \cdot 1,73^{0,21} = 68,6 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 15,1 + 0,5 \cdot 39,2 = 34,7 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 68,6}{39,2} = 3,5;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 34,7}{39,2} = 1,77;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{3,5^2 + (1,77+1)^2 - 2 \cdot 3,5 \cdot (1,77+1) \cdot 0,65} = 2,71;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{3,5^2 + (1,77-1)^2 - 2 \cdot 3,5 \cdot (1,77-1) \cdot 0,65} = 3,06;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,77^2 - 1) \cdot 0,76^2} = 1,5;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -5,28 \cdot \arctan(0,53) + -5,28 \cdot \left[\frac{3,5^2 + (1,77+1)^2 - 2 \cdot 1,77 \cdot (1 + 3,5 \cdot 0,65)}{2,71 \cdot 3,06} \right] \times \right. \\ \left. \times \arctan \left(\frac{2,71 \cdot 0,53}{3,06} \right) + \frac{0,76}{1,5} \cdot \left[\arctan \left(\frac{3,5 \cdot 1,77 - 1,46^2 \cdot 0,65}{1,46 \cdot 1,5} \right) + \arctan \left(\frac{1,46^2 \cdot 0,65}{1,46 \cdot 1,5} \right) \right] \right\} = \\ = 0,353.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,53} \right) + \frac{0,65}{1,5} \cdot \left[\arctan \left(\frac{3,5 \cdot 1,77 - 1,46^2 \cdot 0,65}{1,46 \cdot 1,5} \right) + \arctan \left(\frac{1,46^2 \cdot 0,65}{1,46 \cdot 1,5} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{3,5^2 + (1,77+1)^2 - 2 \cdot 1,77 \cdot (1 + 3,5 \cdot 0,65)}{2,71 \cdot 3,06} \right] \cdot \arctan \left(\frac{2,71 \cdot 0,53}{3,06} \right) \right\} = \\ = 0,51.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,353^2 + 0,51^2} = 0,62.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (34,7 - 0,5 \cdot 39,2)) = 0,989.$$

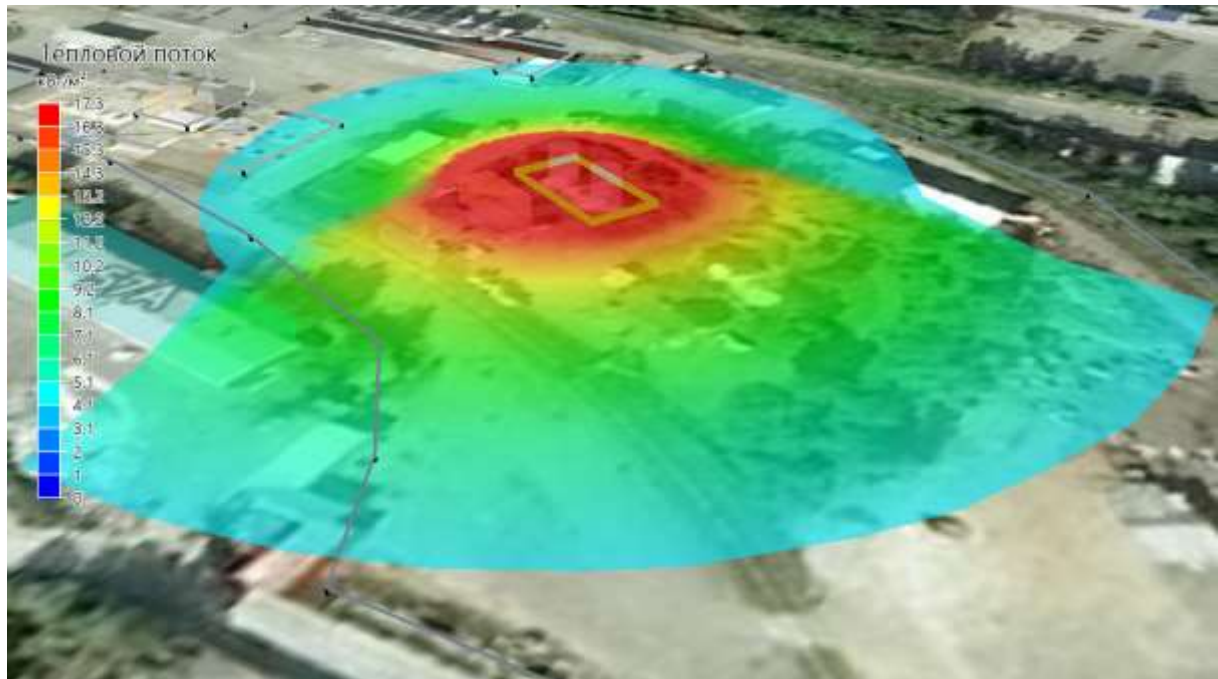
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 39,2} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 39,2}) = 21,1 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

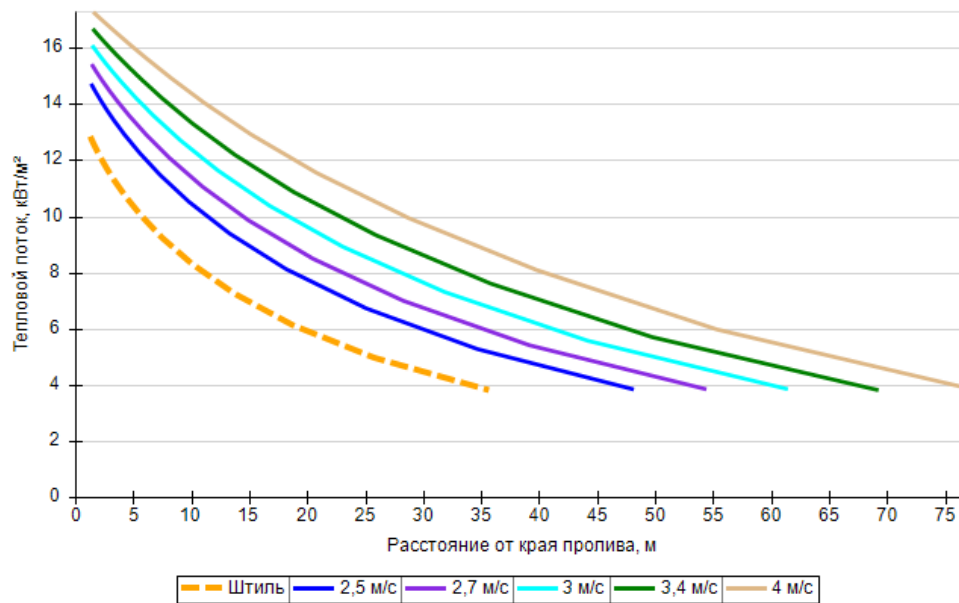
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 21,1 \cdot 0,62 \cdot 0,989 = 12,94 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,0005795.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0005795 = 4,636 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$

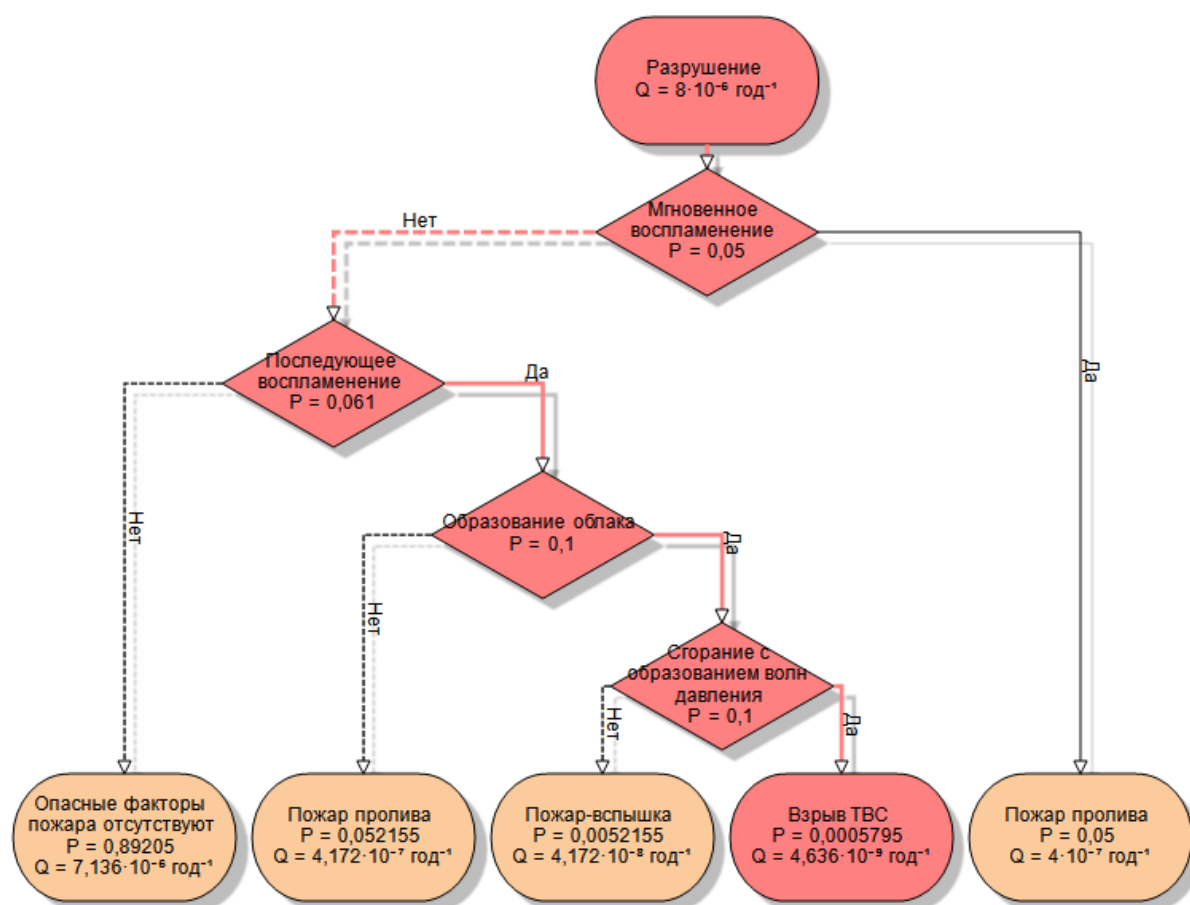


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энерговыделение:

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

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

$$M_T = m_n \cdot Z = 60,196 \cdot 0,1 = 6,02 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 6,02 \cdot 44 \text{ МДж} = 264,86 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 264,86 \cdot 2 = 529,73 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 60,196^{1/6} = 85,1 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 102 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{102}{(529,73 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 5,87.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{5,87} - \frac{0,14}{5,87^2} \right) \cdot 101000 = 2,572 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

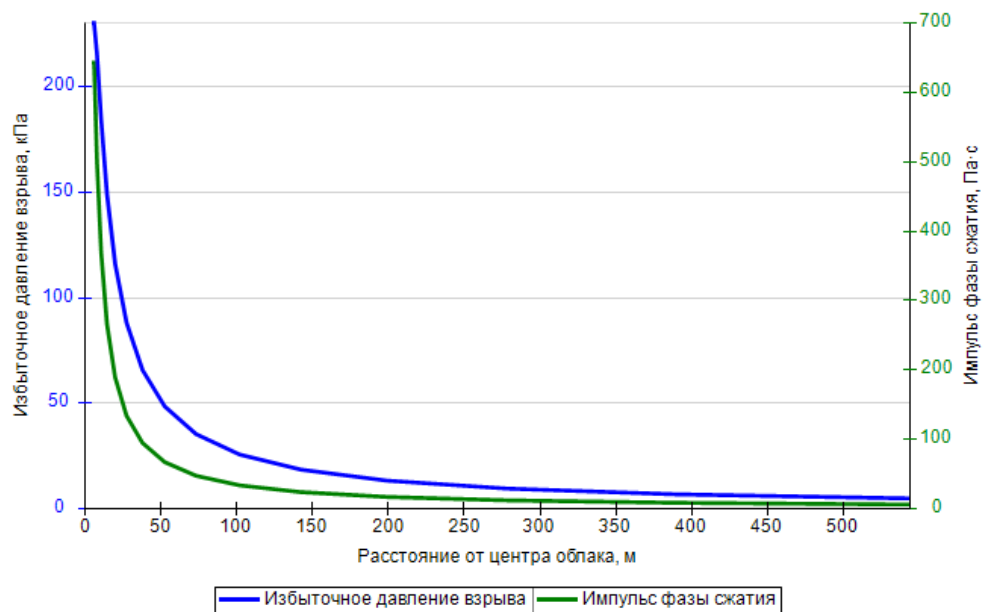
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{5,87} + \frac{0,01}{5,87^2} - \frac{0,0025}{5,87^3} \right) = 0,007; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

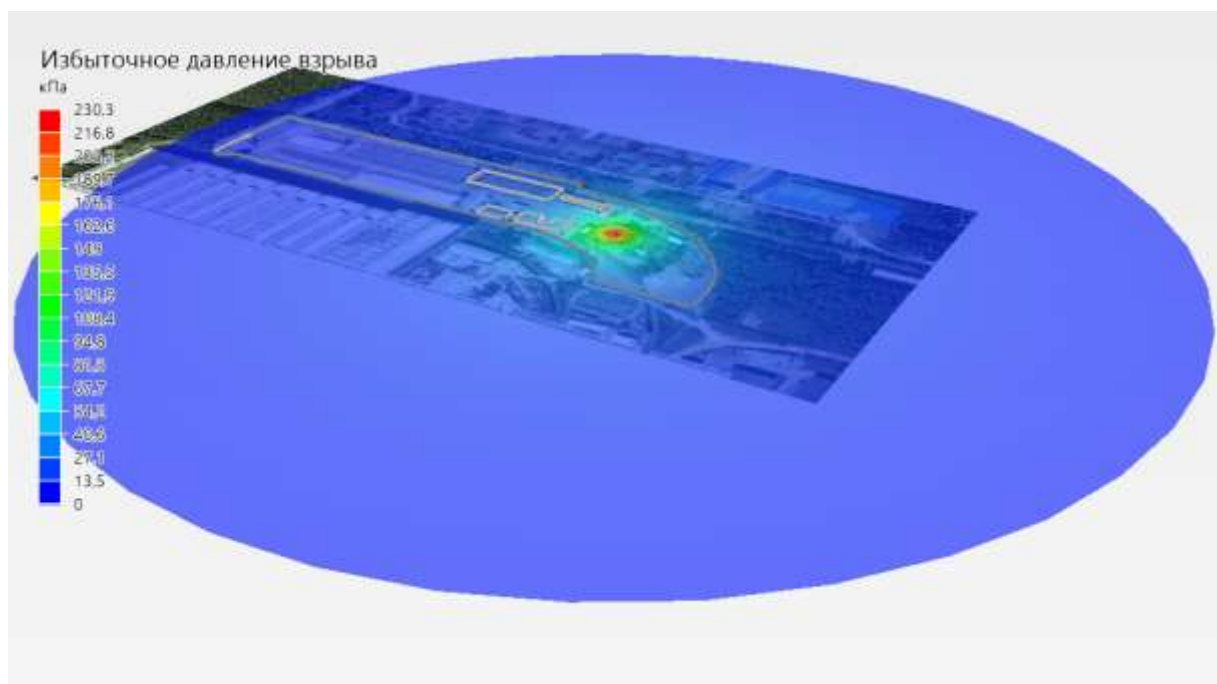
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,007 \cdot 101000^{2/3} \cdot (529,73 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 33,9 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,1) = 0,0052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0052155 = 4,172 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$

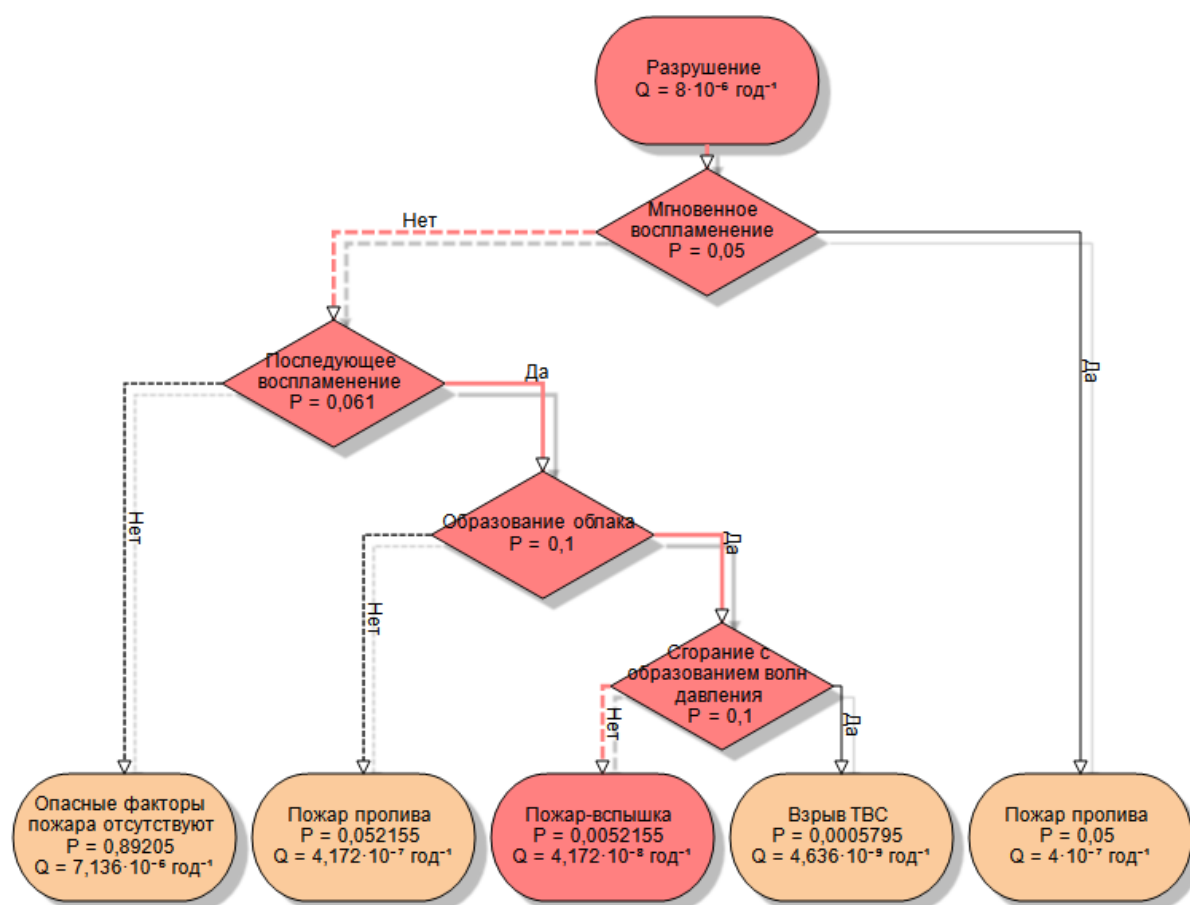


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

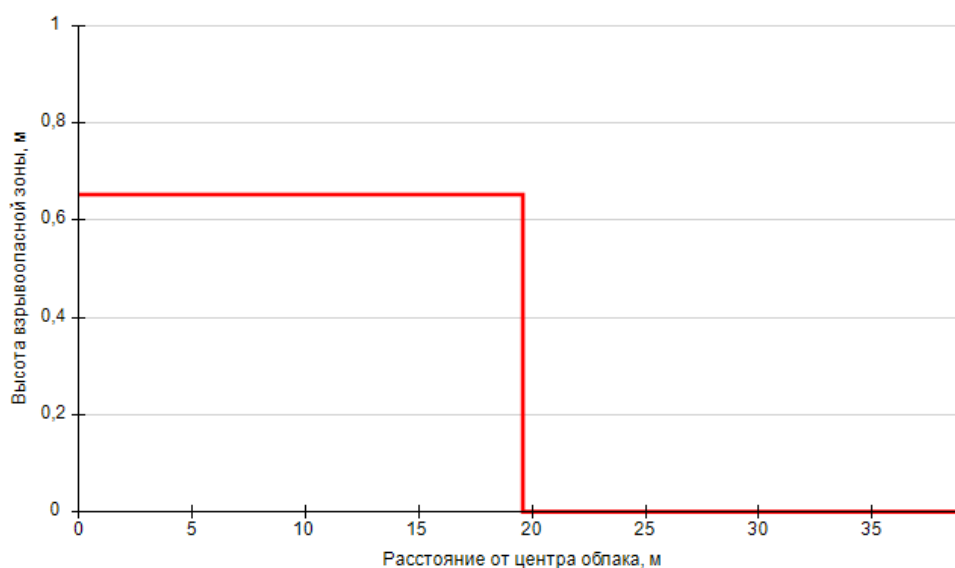
Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее - НКПР), составляет:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{60,196}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 18,4 \text{ м.}$$

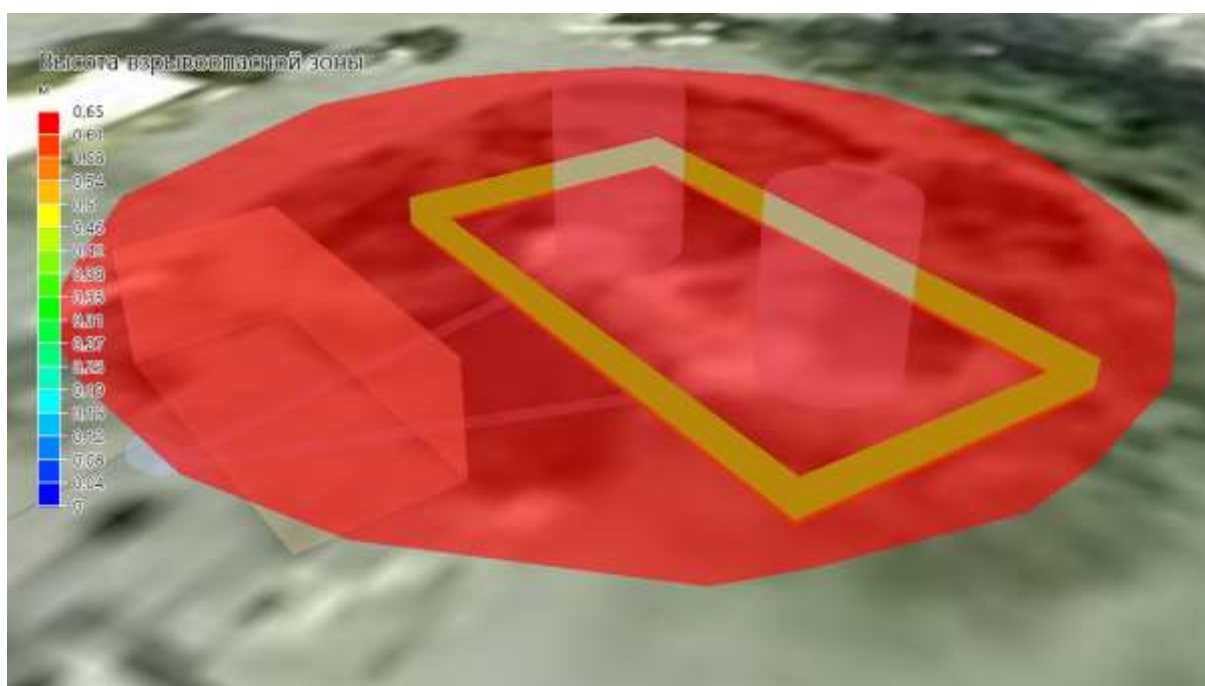
В случае, когда $R_{\text{НКПР}}$ меньше габаритных размеров пролива, – он принимается равным габаритному размеру (эффективному радиусу) пролива: $R_{\text{НКПР}} = 19,6 \text{ м.}$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{60,196}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,65 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.7.4. Пожар на дыхательной арматуре

Пожар на дыхательной арматуре

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

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 9,8 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения

теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 5 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

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

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 2,5}{3,419}}} = 4,32.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 4,32^{-0,5} = 0,481;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,481^2} = 0,877.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,5}} \right)^{0,67} \cdot 4,32^{0,21} = 13,4 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 9,8 + 0,5 \cdot 2,5 = 11 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 13,4}{2,5} = 10,64;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 11}{2,5} = 8,73;$$

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

$$= \sqrt{10,64^2 + (8,73 + 1)^2 - 2 \cdot 10,64 \cdot (8,73 + 1) \cdot 0,877} = 5,14;$$

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

$$= \sqrt{10,64^2 + (8,73 - 1)^2 - 2 \cdot 10,64 \cdot (8,73 - 1) \cdot 0,877} = 5,36;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta} = \sqrt{1 + (8,73^2 - 1) \cdot 0,481^2} = 4,29;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_V &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \Big\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -8,7 \cdot \arctan(0,89) + -8,7 \cdot \left[\frac{10,64^2 + (8,73 + 1)^2 - 2 \cdot 8,73 \cdot (1 + 10,64 \cdot 0,877)}{5,14 \cdot 5,36} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left(\frac{5,14 \cdot 0,89}{5,36} \right) + \frac{0,481}{4,29} \cdot \left[\arctan \left(\frac{10,64 \cdot 8,73 - 8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29} \right) + \arctan \left(\frac{8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29} \right) \right] \Big\} = \\
&= 0,117.
\end{aligned}$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\
&- \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \Big\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,89} \right) + \frac{0,877}{4,29} \cdot \left[\arctan \left(\frac{10,64 \cdot 8,73 - 8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29} \right) + \arctan \left(\frac{8,68^2 \cdot 0,877}{8,68 \cdot 4,29} \right) \right] - \right. \\
&- \left[\frac{10,64^2 + (8,73 + 1)^2 - 2 \cdot 8,73 \cdot (1 + 10,64 \cdot 0,877)}{5,14 \cdot 5,36} \right] \cdot \arctan \left(\frac{5,14 \cdot 0,89}{5,36} \right) \Big\} = \\
&= 0,229.
\end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,117^2 + 0,229^2} = 0,257.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (11 - 0,5 \cdot 2,5)) = 0,993.$$

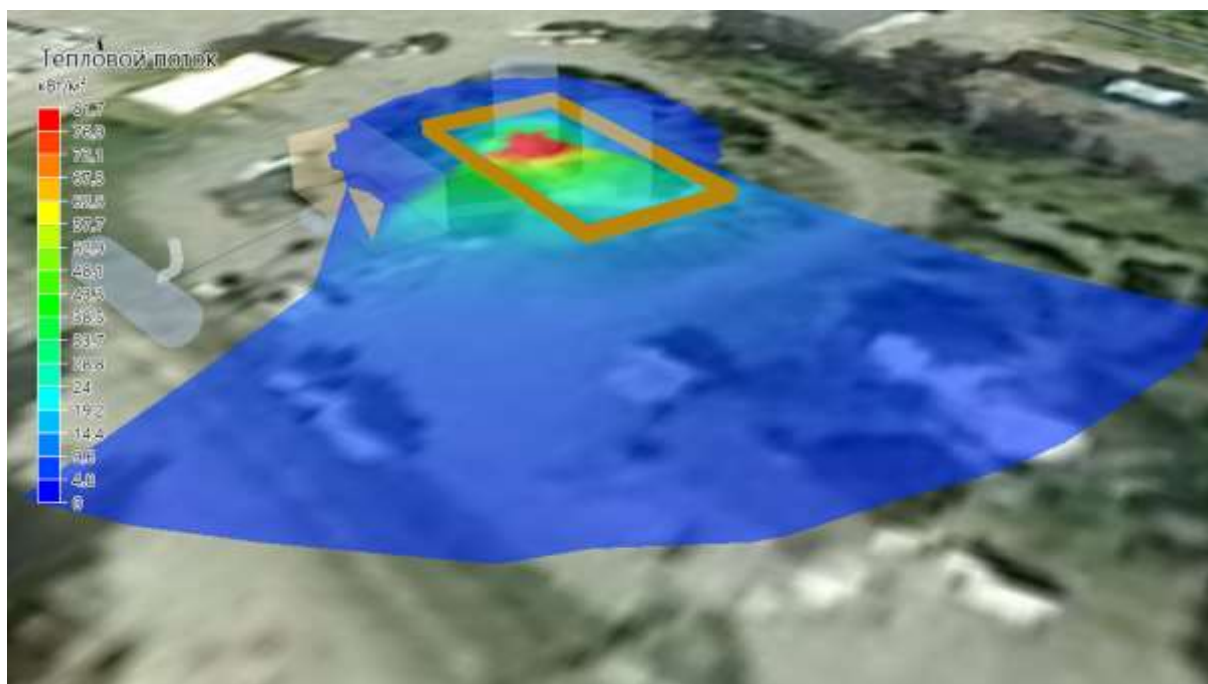
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned}
E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\
&= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 2,5} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 2,5}) = 108,7 \text{ кВт/м}^2.
\end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

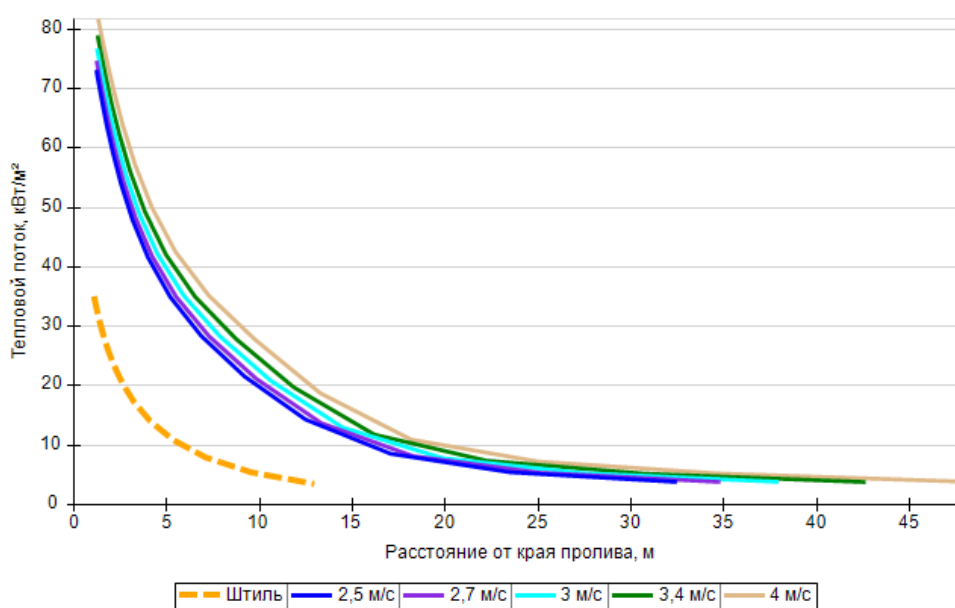
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 108,7 \cdot 0,257 \cdot 0,993 = 27,78 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

5.7.5. Пожар по всей поверхности

Пожар по всей поверхности

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

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 11,9 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 17,6 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{17,6 \cdot \pi}} = 4,7 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 4,7}{3,419}}} = 3,5.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 3,5^{-0,5} = 0,534;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,534^2} = 0,845.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 4,7 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 4,7}} \right)^{0,67} \cdot 3,5^{0,21} = 19,5 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 11,9 + 0,5 \cdot 4,7 = 14,3 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 19,5}{4,7} = 8,25;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 14,3}{4,7} = 6,05;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin \theta} = \\ = \sqrt{8,25^2 + (6,05 + 1)^2 - 2 \cdot 8,25 \cdot (6,05 + 1) \cdot 0,845} = 4,41;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin \theta} = \\ = \sqrt{8,25^2 + (6,05 - 1)^2 - 2 \cdot 8,25 \cdot (6,05 - 1) \cdot 0,845} = 4,81;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta} = \sqrt{1 + (6,05^2 - 1) \cdot 0,534^2} = 3,34;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_V &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \Bigg\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -4,78 \cdot \arctan(0,85) + -4,78 \cdot \left[\frac{8,25^2 + (6,05 + 1)^2 - 2 \cdot 6,05 \cdot (1 + 8,25 \cdot 0,845)}{4,41 \cdot 4,81} \right] \times \right. \\
&\times \arctan \left(\frac{4,41 \cdot 0,85}{4,81} \right) + \frac{0,534}{3,34} \cdot \left[\arctan \left(\frac{8,25 \cdot 6,05 - 5,96^2 \cdot 0,845}{5,96 \cdot 3,34} \right) + \arctan \left(\frac{5,96^2 \cdot 0,845}{5,96 \cdot 3,34} \right) \right] \Bigg\} = \\
&= 0,151.
\end{aligned}$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned}
F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\
&- \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \Bigg\} = \\
&= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,85} \right) + \frac{0,845}{3,34} \cdot \left[\arctan \left(\frac{8,25 \cdot 6,05 - 5,96^2 \cdot 0,845}{5,96 \cdot 3,34} \right) + \arctan \left(\frac{5,96^2 \cdot 0,845}{5,96 \cdot 3,34} \right) \right] - \right. \\
&- \left[\frac{8,25^2 + (6,05 + 1)^2 - 2 \cdot 6,05 \cdot (1 + 8,25 \cdot 0,845)}{4,41 \cdot 4,81} \right] \cdot \arctan \left(\frac{4,41 \cdot 0,85}{4,81} \right) \Bigg\} = \\
&= 0,29.
\end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,151^2 + 0,29^2} = 0,327.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (14,3 - 0,5 \cdot 4,7)) = 0,992.$$

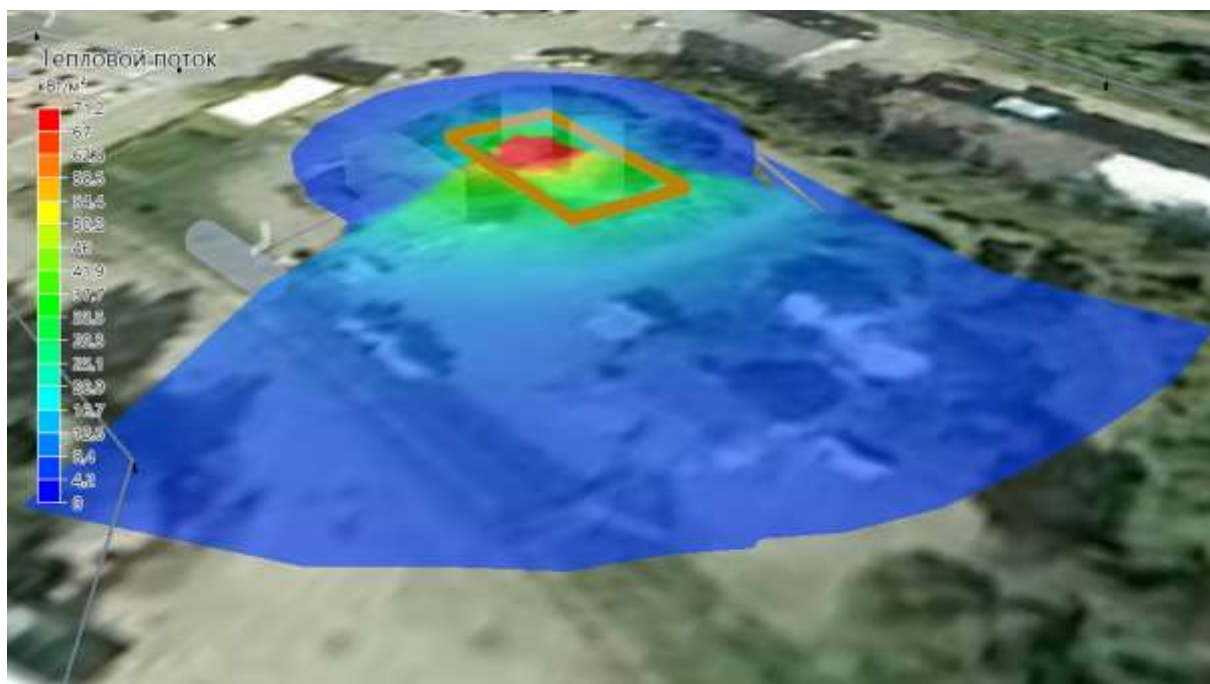
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned}
E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\
&= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 4,7} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 4,7}) = 88 \text{ кВт/м}^2.
\end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

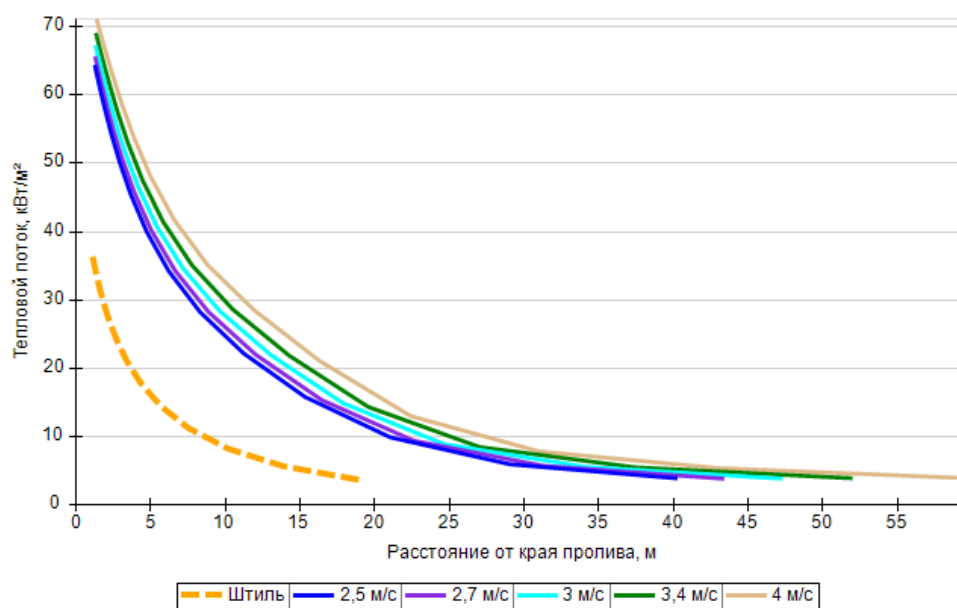
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 88 \cdot 0,327 \cdot 0,992 = 28,51 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

5.8. PBC_02

5.8.1. Разгерметизация 25 мм

5.8.2. Разгерметизация 100 мм

5.8.3. Разрушение

5.8.4. Пожар на дыхательной арматуре

5.8.5. Пожар по всей поверхности

5.9. Гибкое соединение автоцистерны

5.9.1. Разгерметизация 5 мм

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,005$.

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 6,76 \cdot 10^{-4} \cdot 0,005 = 3,38 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

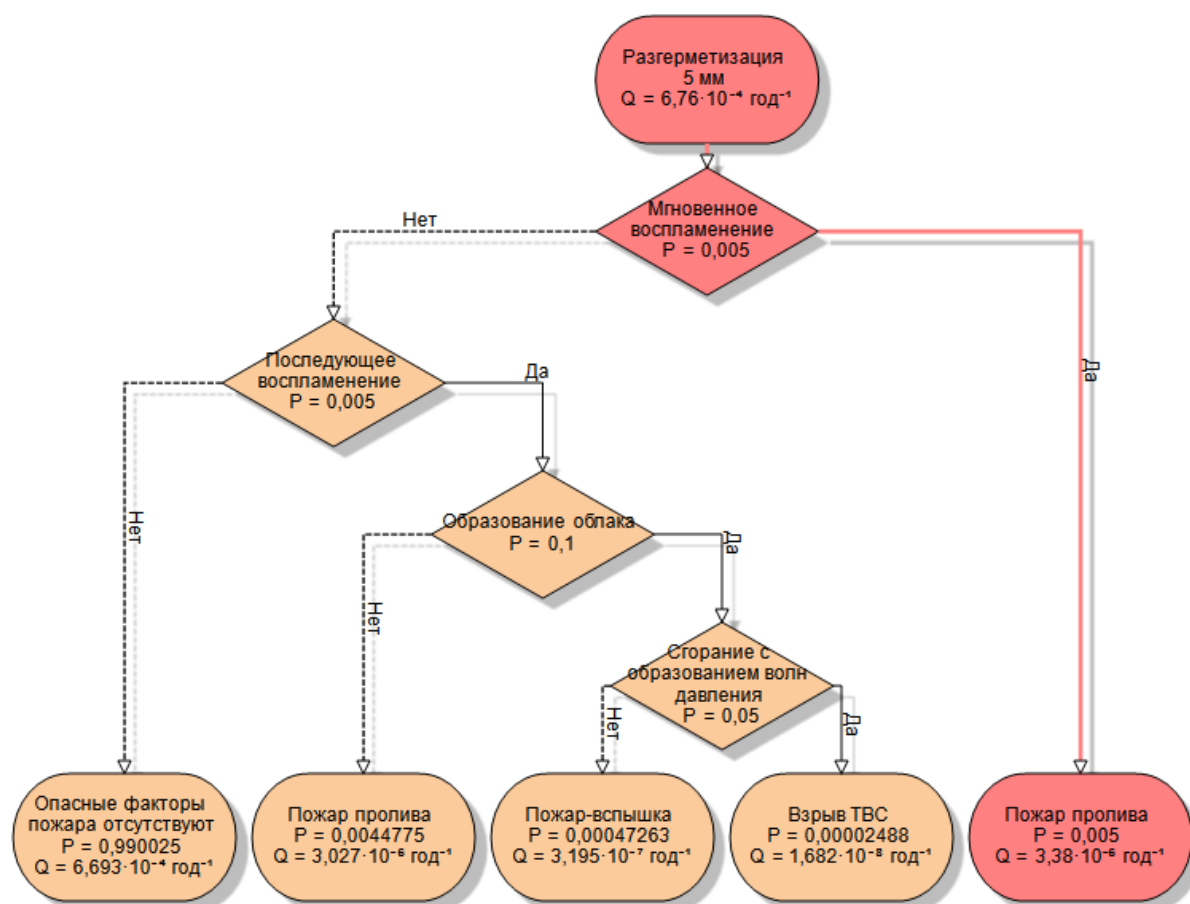


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,005) \cdot 0,005 \cdot (1 - 0,1) = 0,0044775.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 6,76 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0044775 = 3,027 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$

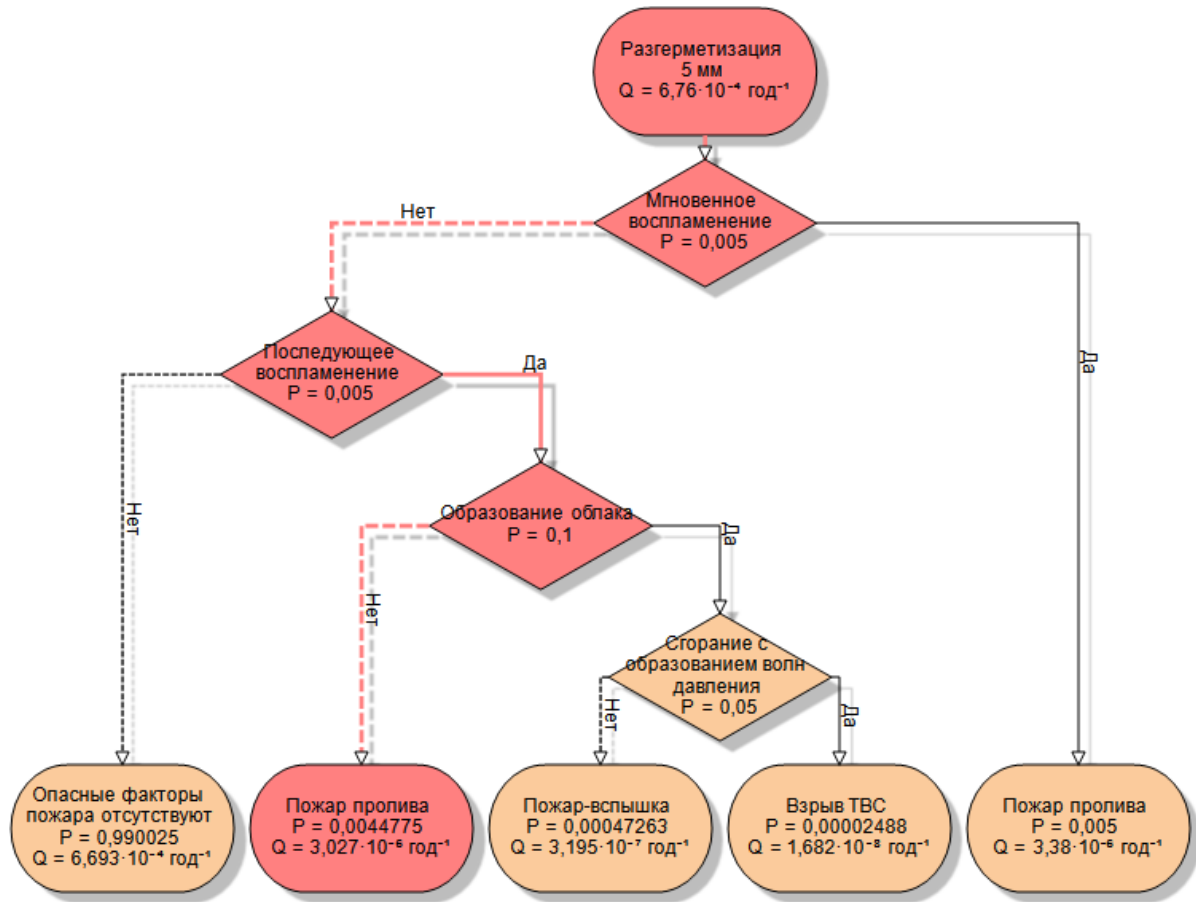


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 5,8 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 0,6 \text{ м}^2.$

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{0,6 \cdot \pi}} = 0,9 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 0,9}{3,419}}} = 6,09.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos\theta = u_*^{-0,5} = 6,09^{-0,5} = 0,405;$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0,405^2} = 0,914.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 0,9}} \right)^{0,67} \cdot 6,09^{0,21} = 7,3 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 5,8 + 0,5 \cdot 0,9 = 6,3 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 7,3}{0,9} = 16,16;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 6,3}{0,9} = 14;$$

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

$$= \sqrt{16,16^2 + (14+1)^2 - 2 \cdot 16,16 \cdot (14+1) \cdot 0,914} = 6,55;$$

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

$$= \sqrt{16,16^2 + (14-1)^2 - 2 \cdot 16,16 \cdot (14-1) \cdot 0,914} = 6,79;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (14^2 - 1) \cdot 0,405^2} = 5,75;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

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

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

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -8,45 \cdot \arctan(0,93) + -8,45 \cdot \left[\frac{16,16^2 + (14+1)^2 - 2 \cdot 14 \cdot (1 + 16,16 \cdot 0,914)}{6,55 \cdot 6,79} \right] \times \right.$$

$$\times \arctan\left(\frac{6,55 \cdot 0,93}{6,79}\right) + \frac{0,405}{5,75} \cdot \left[\arctan\left(\frac{16,16 \cdot 14 - 13,97^2 \cdot 0,914}{13,97 \cdot 5,75}\right) + \arctan\left(\frac{13,97^2 \cdot 0,914}{13,97 \cdot 5,75}\right) \right] \Bigg\} =$$

$$= 0,083.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{0,93}\right) + \frac{0,914}{5,75} \cdot \left[\arctan\left(\frac{16,16 \cdot 14 - 13,97^2 \cdot 0,914}{13,97 \cdot 5,75}\right) + \arctan\left(\frac{13,97^2 \cdot 0,914}{13,97 \cdot 5,75}\right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{16,16^2 + (14+1)^2 - 2 \cdot 14 \cdot (1 + 16,16 \cdot 0,914)}{6,55 \cdot 6,79} \right] \cdot \arctan\left(\frac{6,55 \cdot 0,93}{6,79}\right) \right\} = \\ = 0,176.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,083^2 + 0,176^2} = 0,195.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (6,3 - 0,5 \cdot 0,9)) = 0,996.$$

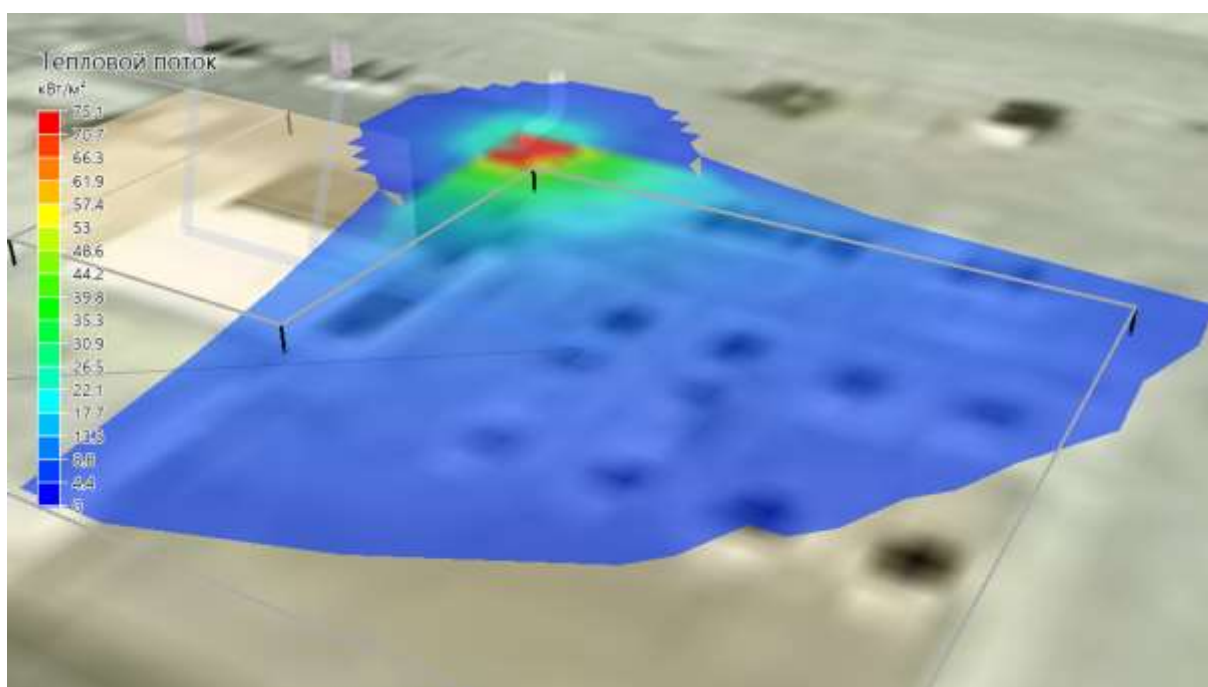
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$E_f = 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ = 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 0,9} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 0,9}) = 127,7 \text{ кВт/м}^2.$$

Интенсивность теплового излучения:

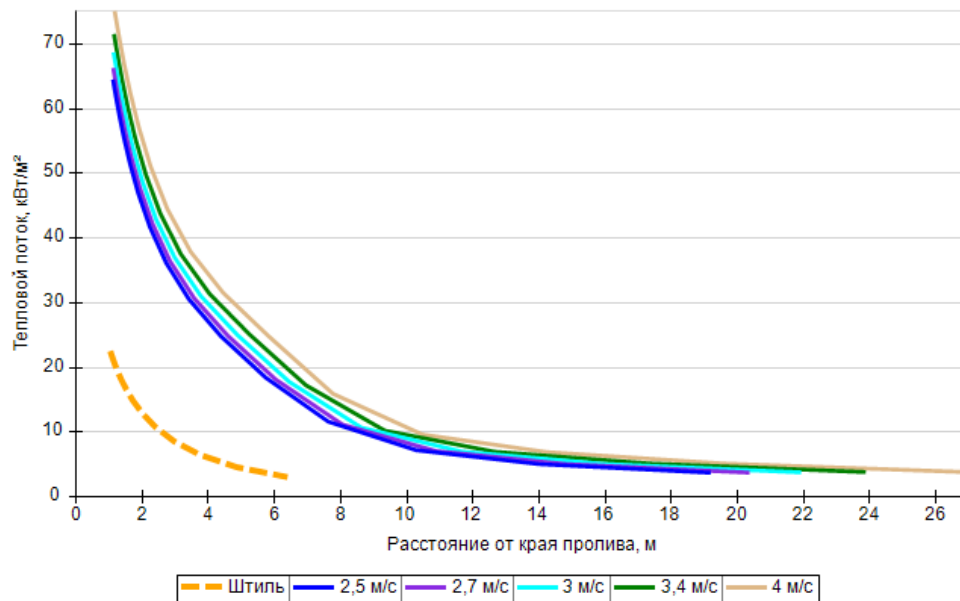
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 127,7 \cdot 0,195 \cdot 0,996 = 24,78 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,005) \cdot 0,005 \cdot 0,1 \cdot 0,05 = 0,00002488.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 6,76 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00002488 = 1,682 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$

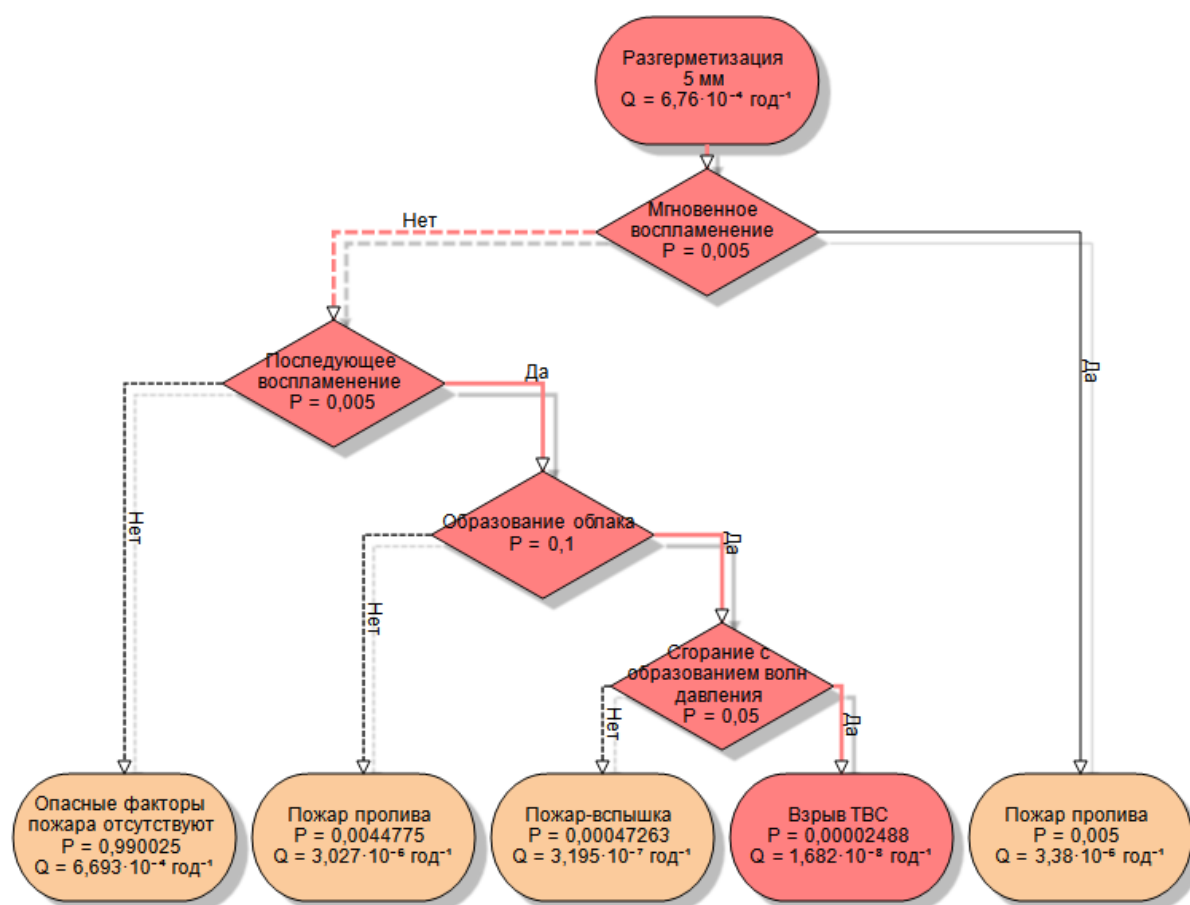


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энерговыделение:

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

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

$$M_T = m_n \cdot Z = 0,032 \cdot 0,1 = 0,003 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 0,003 \cdot 44 \text{ МДж} = 0,14 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 0,14 \cdot 2 = 0,28 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 0,032^{1/6} = 24,2 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 9,1 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{9,1}{(0,28 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 6,52.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{6,52} - \frac{0,14}{6,52^2} \right) \cdot 101000 = 2,322 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

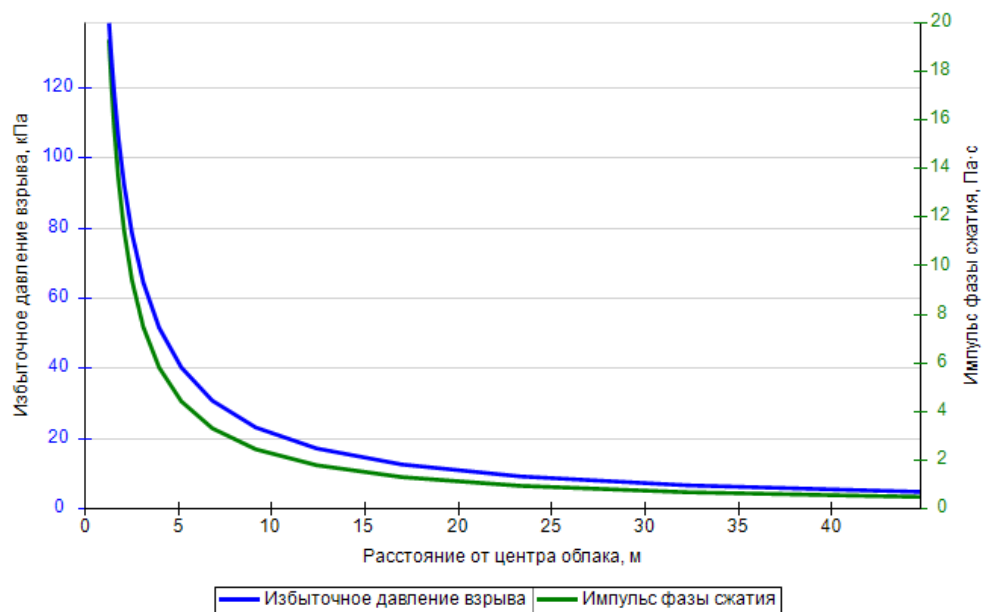
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{6,52} + \frac{0,01}{6,52^2} - \frac{0,0025}{6,52^3} \right) = 0,006; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

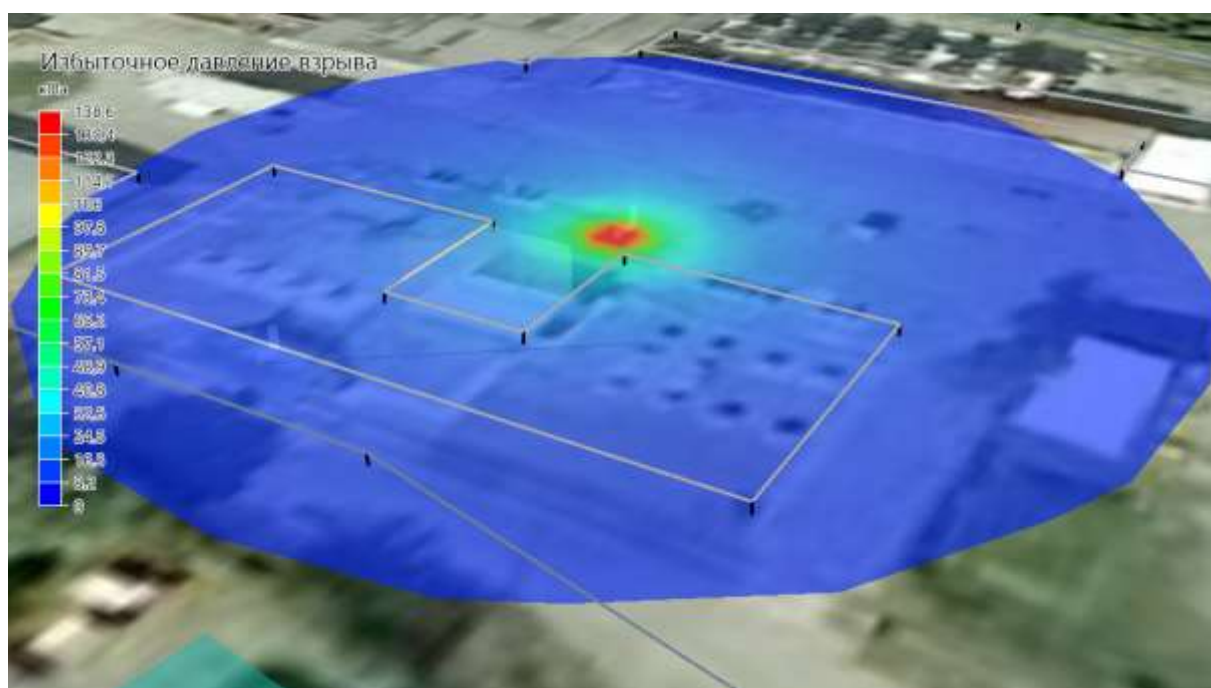
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,006 \cdot 101000^{2/3} \cdot (0,28 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 2,5 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,005) \cdot 0,005 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,05) = 0,00047263.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 6,76 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00047263 = 3,195 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$

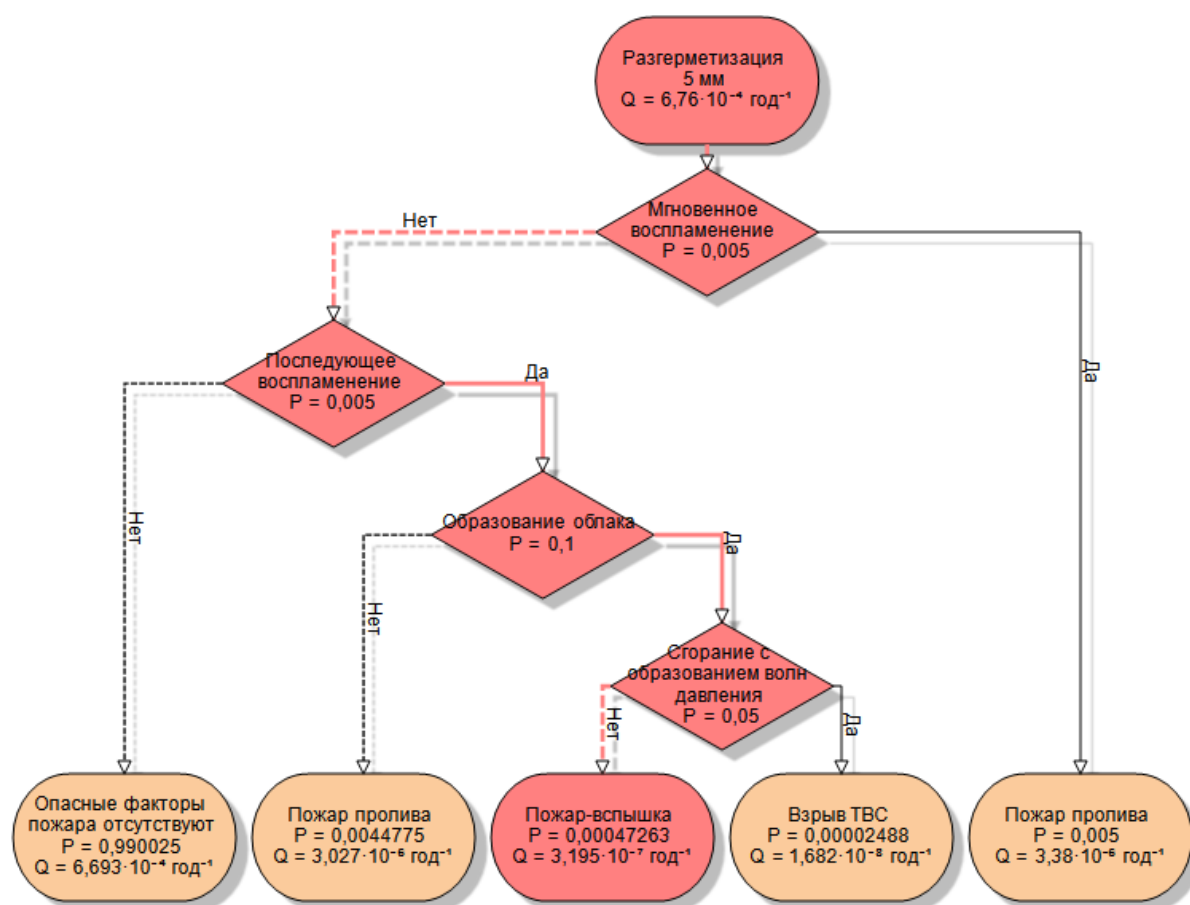


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

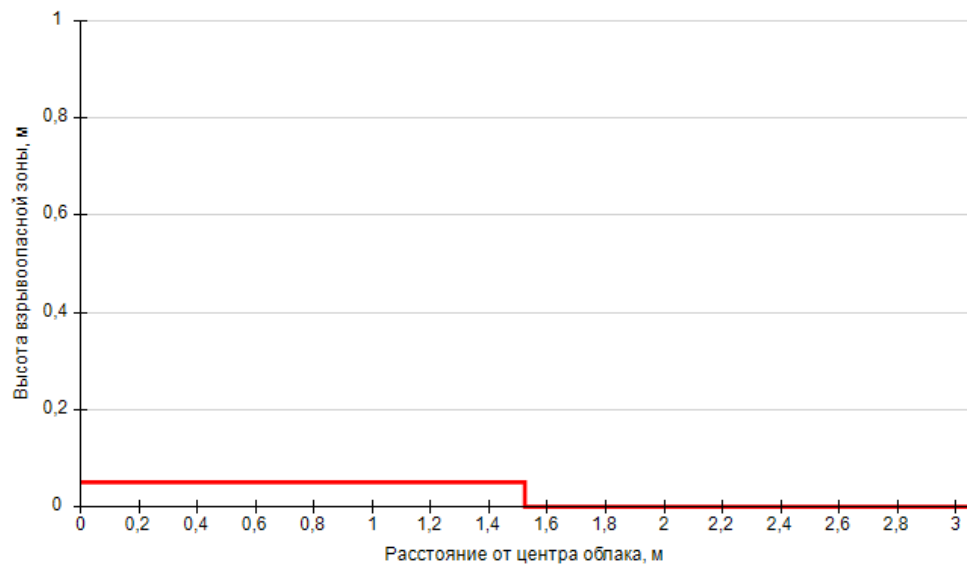
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

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

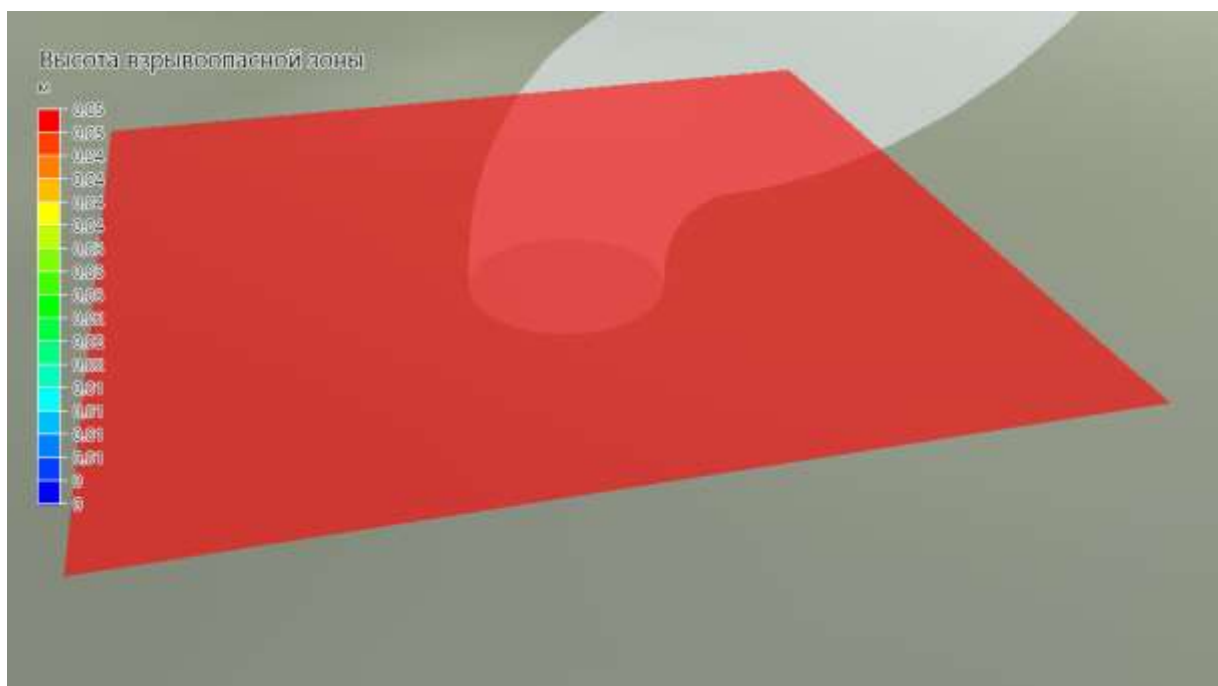
$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{0,032}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 1,5 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{0,032}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,05 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.9.2. Разгерметизация 15 мм

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,005$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,005 = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$.

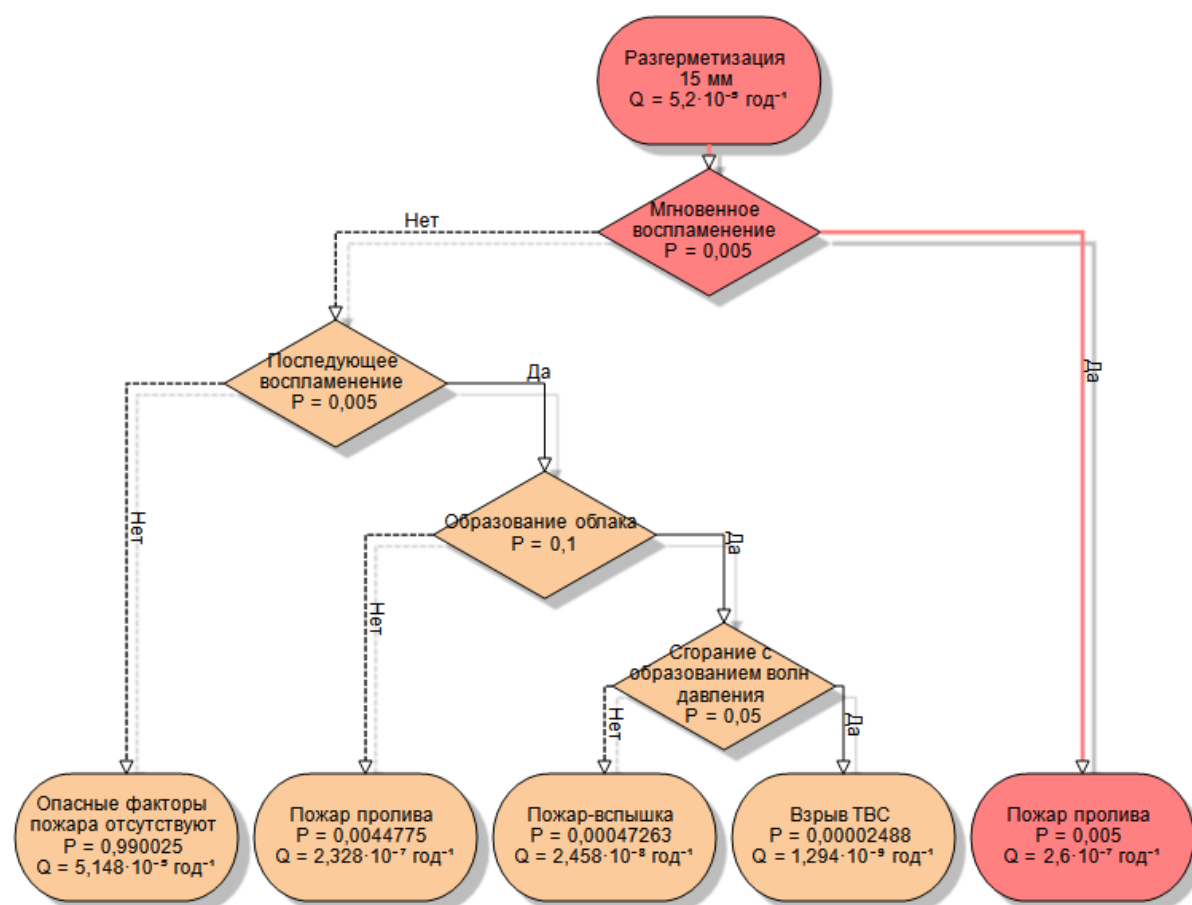


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,005) \cdot 0,005 \cdot (1 - 0,1) = 0,0044775.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0044775 = 2,328 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$

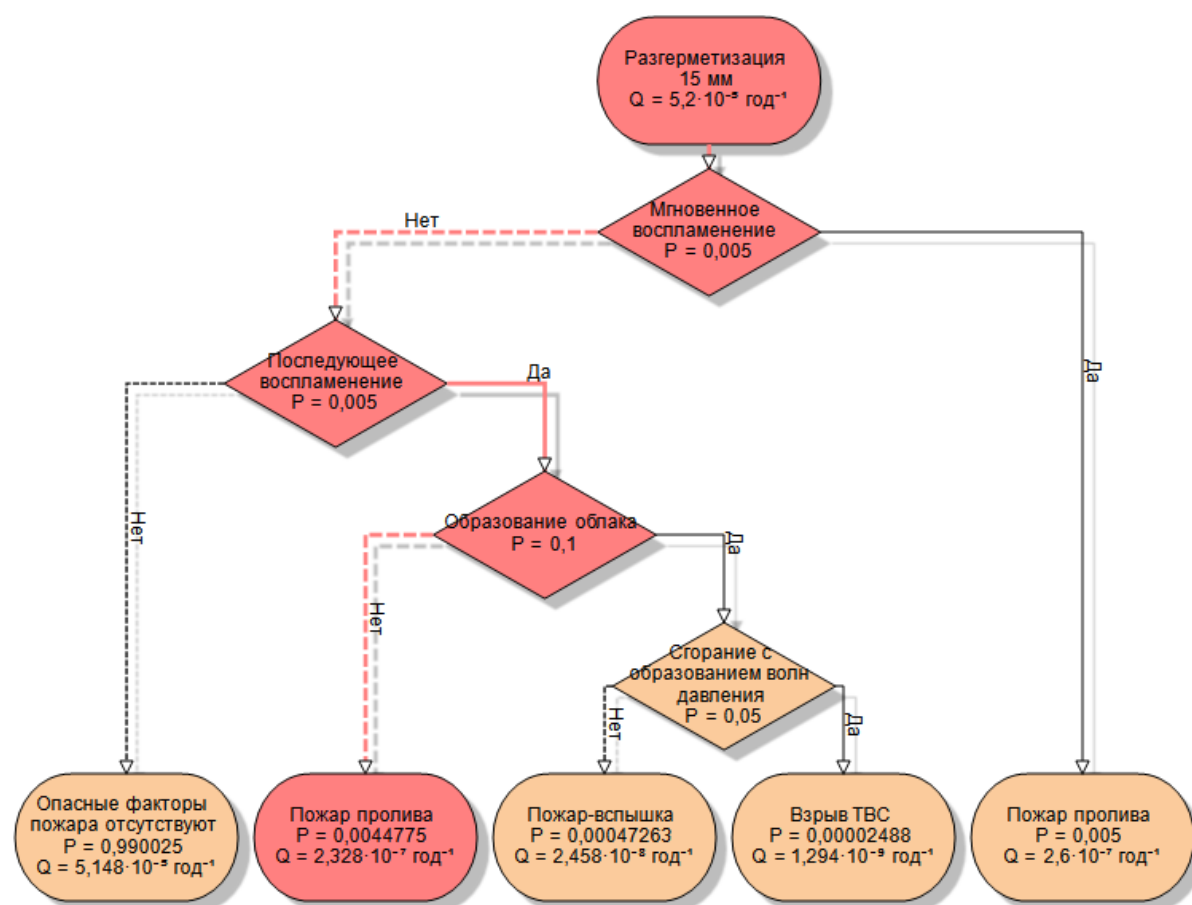


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 10 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 5,7 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{5,7 \cdot \pi}} = 2,7 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 2,7}{3,419}}} = 4,22.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 4,22^{-0,5} = 0,487;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,487^2} = 0,874.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 2,7 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,7}} \right)^{0,67} \cdot 4,22^{0,21} = 13,9 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 10 + 0,5 \cdot 2,7 = 11,4 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 13,9}{2,7} = 10,36;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 11,4}{2,7} = 8,46;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b + 1)^2 - 2a(b + 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{10,36^2 + (8,46 + 1)^2 - 2 \cdot 10,36 \cdot (8,46 + 1) \cdot 0,874} = 5,06;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b - 1)^2 - 2a(b - 1) \cdot \sin\theta} = \\ = \sqrt{10,36^2 + (8,46 - 1)^2 - 2 \cdot 10,36 \cdot (8,46 - 1) \cdot 0,874} = 5,29;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (8,46^2 - 1) \cdot 0,487^2} = 4,21;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ \times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \Bigg\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -8,58 \cdot \arctan(0,89) + -8,58 \cdot \left[\frac{10,36^2 + (8,46 + 1)^2 - 2 \cdot 8,46 \cdot (1 + 10,36 \cdot 0,874)}{5,06 \cdot 5,29} \right] \times \right. \\ \times \arctan \left(\frac{5,06 \cdot 0,89}{5,29} \right) + \frac{0,487}{4,21} \cdot \left[\arctan \left(\frac{10,36 \cdot 8,46 - 8,4^2 \cdot 0,874}{8,4 \cdot 4,21} \right) + \arctan \left(\frac{8,4^2 \cdot 0,874}{8,4 \cdot 4,21} \right) \right] \Bigg\} = \\ = 0,12.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b + 1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} = \\ = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,89} \right) + \frac{0,874}{4,21} \cdot \left[\arctan \left(\frac{10,36 \cdot 8,46 - 8,4^2 \cdot 0,874}{8,4 \cdot 4,21} \right) + \arctan \left(\frac{8,4^2 \cdot 0,874}{8,4 \cdot 4,21} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{10,36^2 + (8,46 + 1)^2 - 2 \cdot 8,46 \cdot (1 + 10,36 \cdot 0,874)}{5,06 \cdot 5,29} \right] \cdot \arctan \left(\frac{5,06 \cdot 0,89}{5,29} \right) \right\} = \\ = 0,234.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,12^2 + 0,234^2} = 0,262.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (11,4 - 0,5 \cdot 2,7)) = 0,993.$$

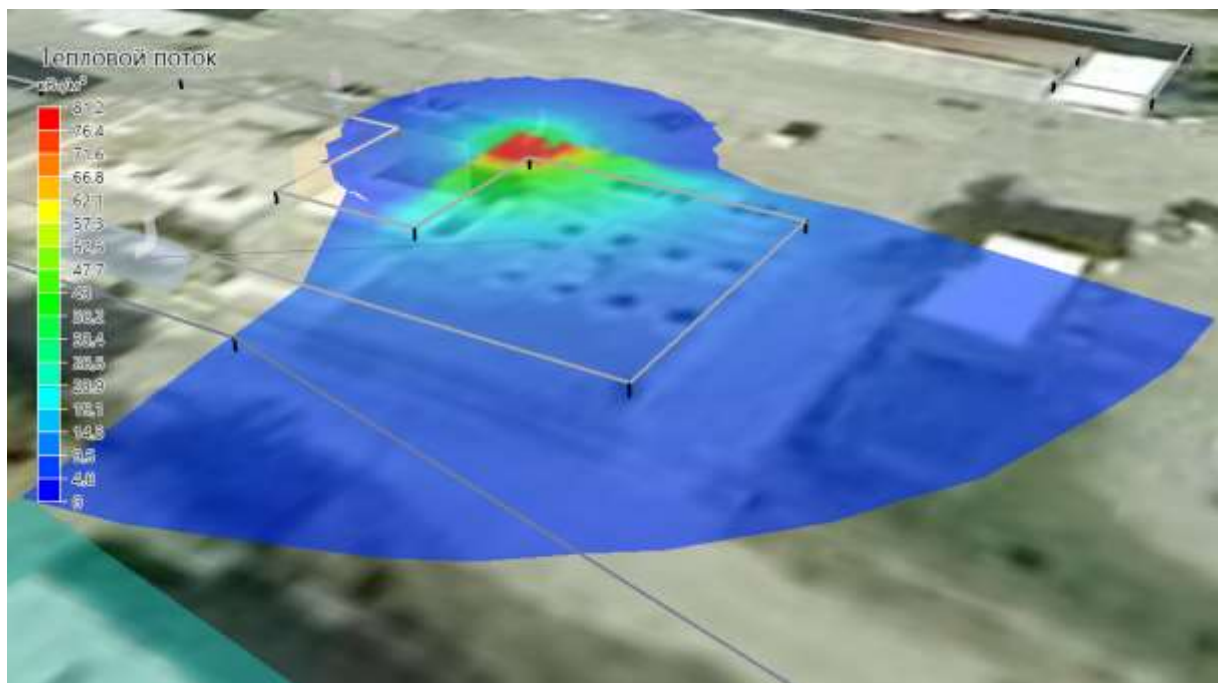
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 2,7} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 2,7}) = 106,9 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

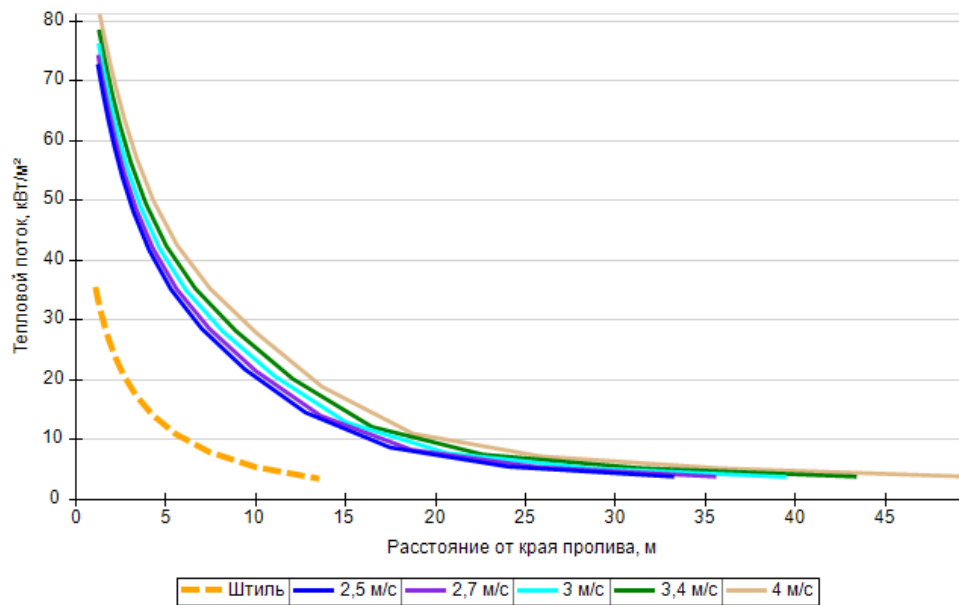
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 106,9 \cdot 0,262 \cdot 0,993 = 27,84 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,005) \cdot 0,005 \cdot 0,1 \cdot 0,05 = 0,00002488.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,00002488 = 1,294 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$

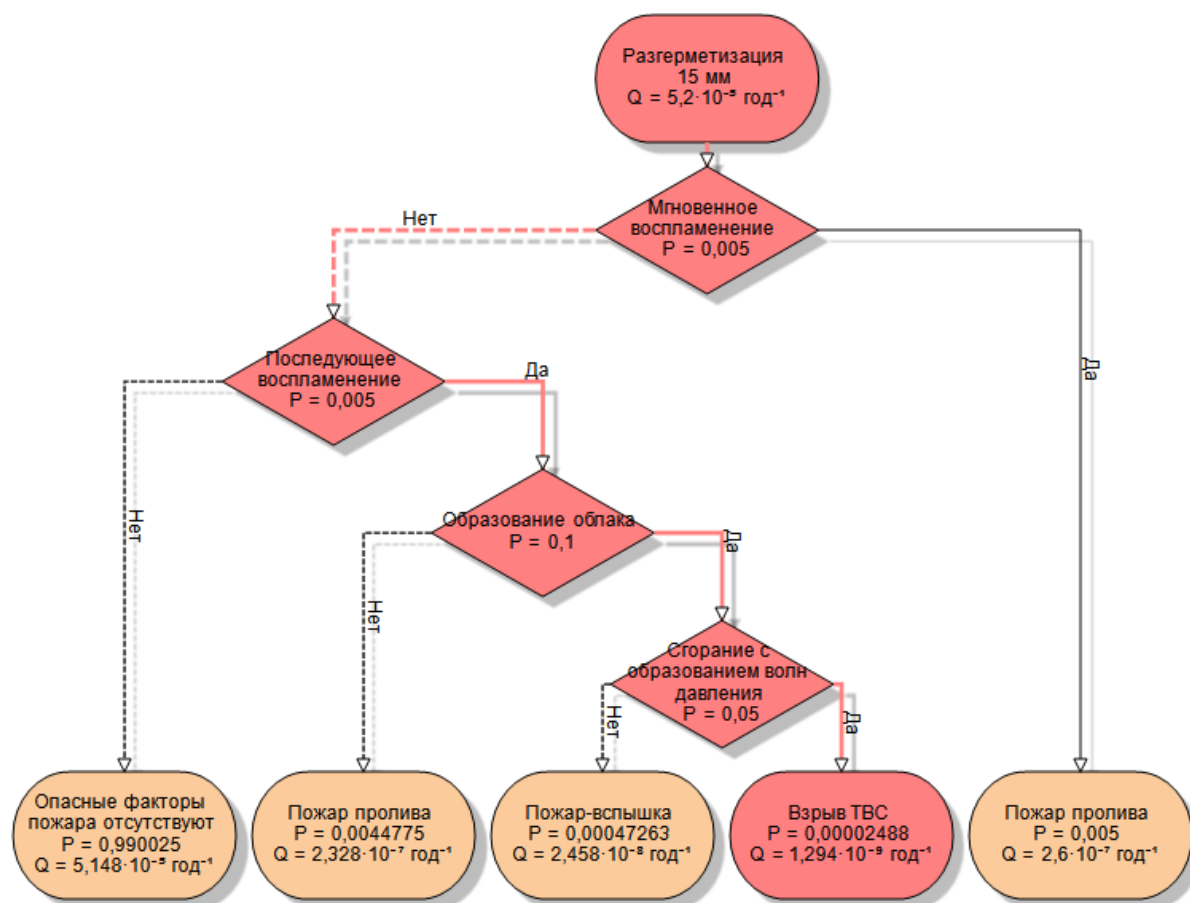


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энерговыделение:

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

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

$$M_T = m_n \cdot Z = 0,284 \cdot 0,1 = 0,028 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 0,028 \cdot 44 \text{ МДж} = 1,25 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 1,25 \cdot 2 = 2,5 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 0,284^{1/6} = 34,9 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 17,9 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{17,9}{(2,5 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 6,12.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{6,12} - \frac{0,14}{6,12^2} \right) \cdot 101000 = 2,468 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

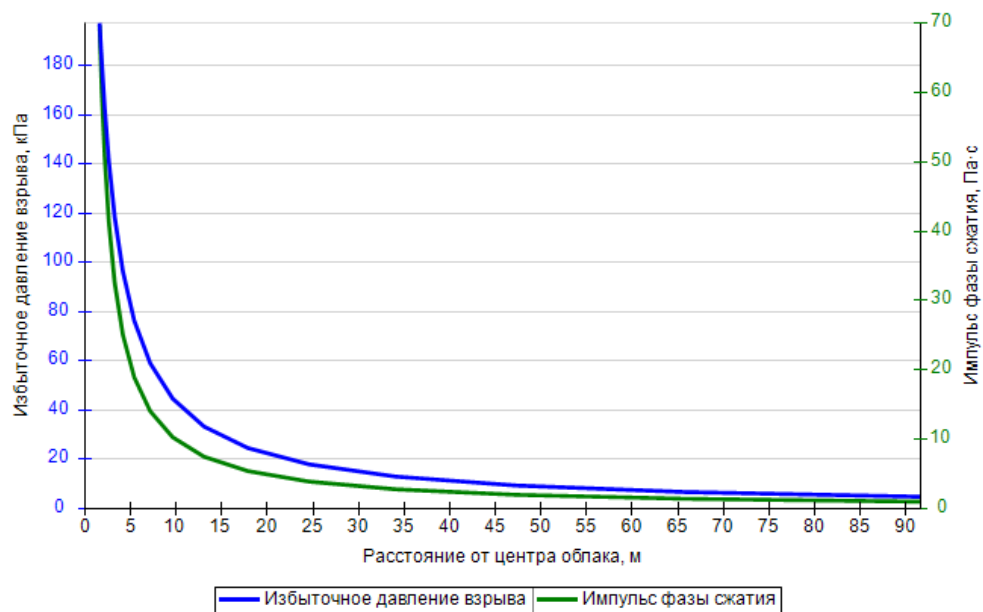
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{6,12} + \frac{0,01}{6,12^2} - \frac{0,0025}{6,12^3} \right) = 0,006; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

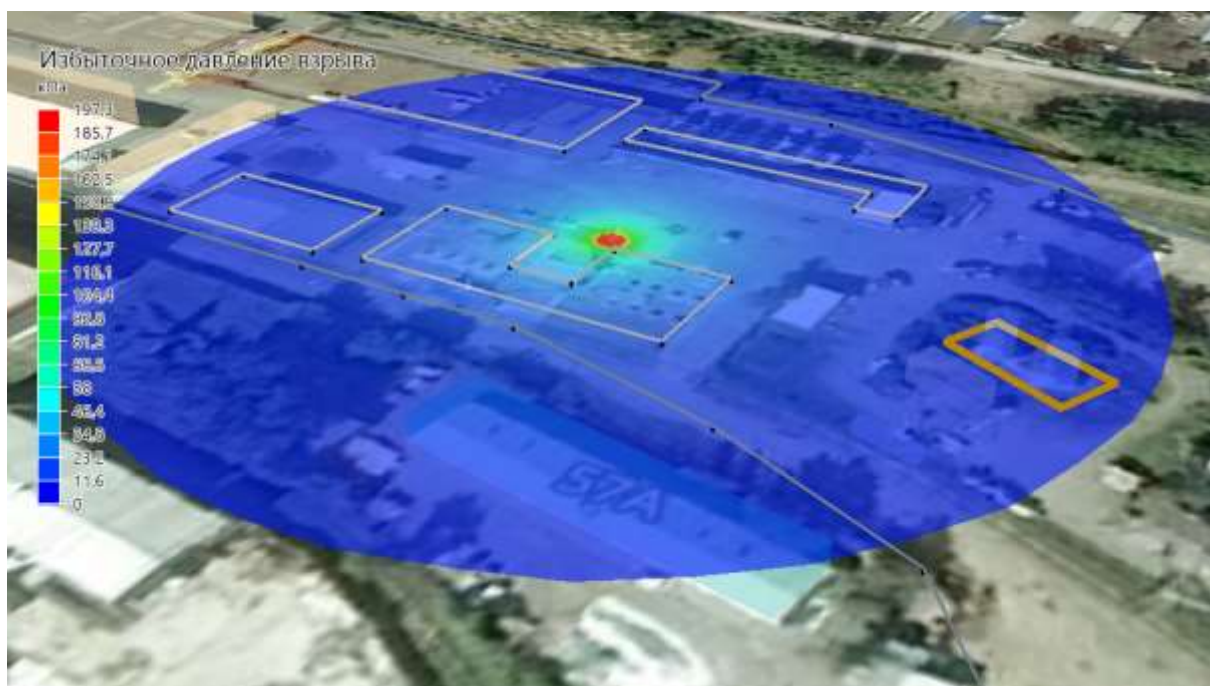
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,006 \cdot 101000^{2/3} \cdot (2,5 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 5,4 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,005) \cdot 0,005 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,05) = 0,00047263.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,00047263 = 2,458 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$

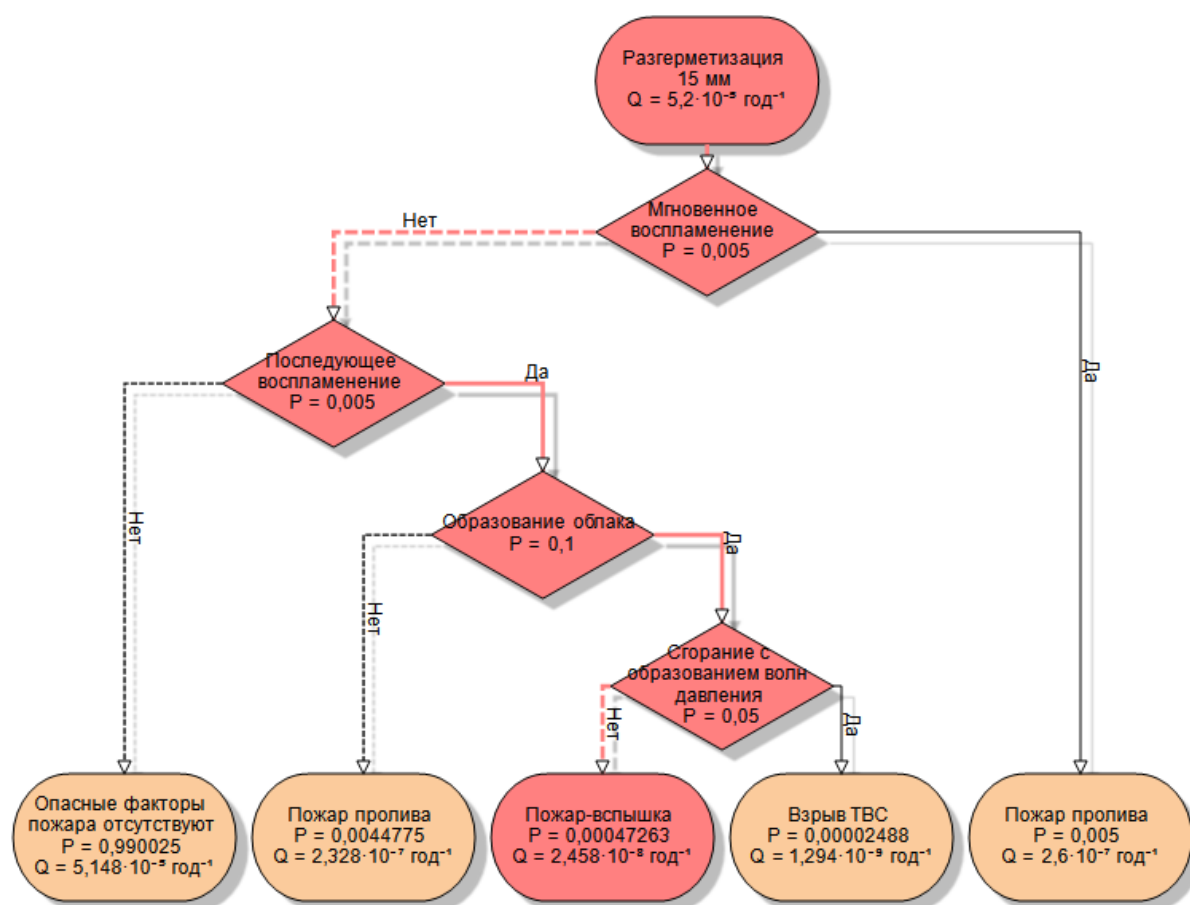


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

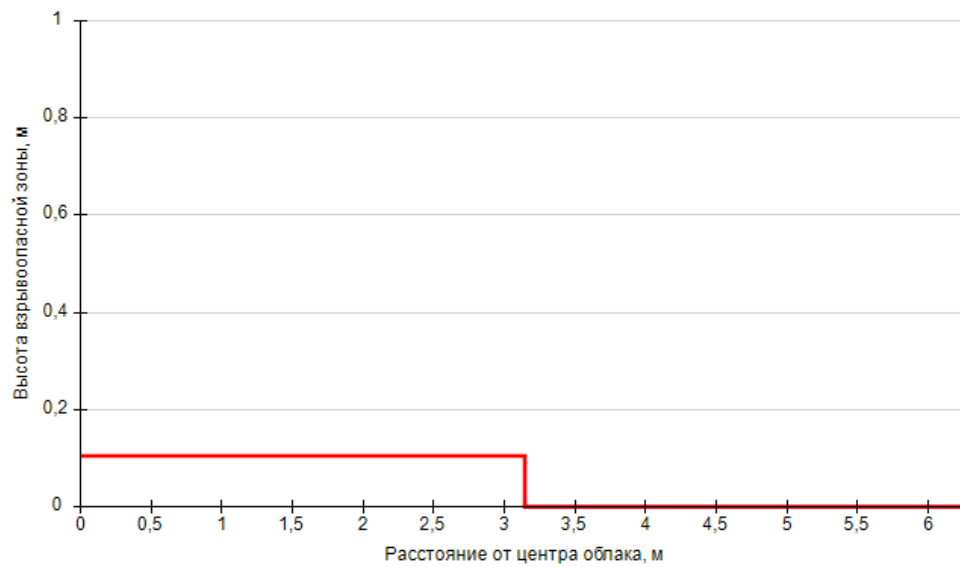
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

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

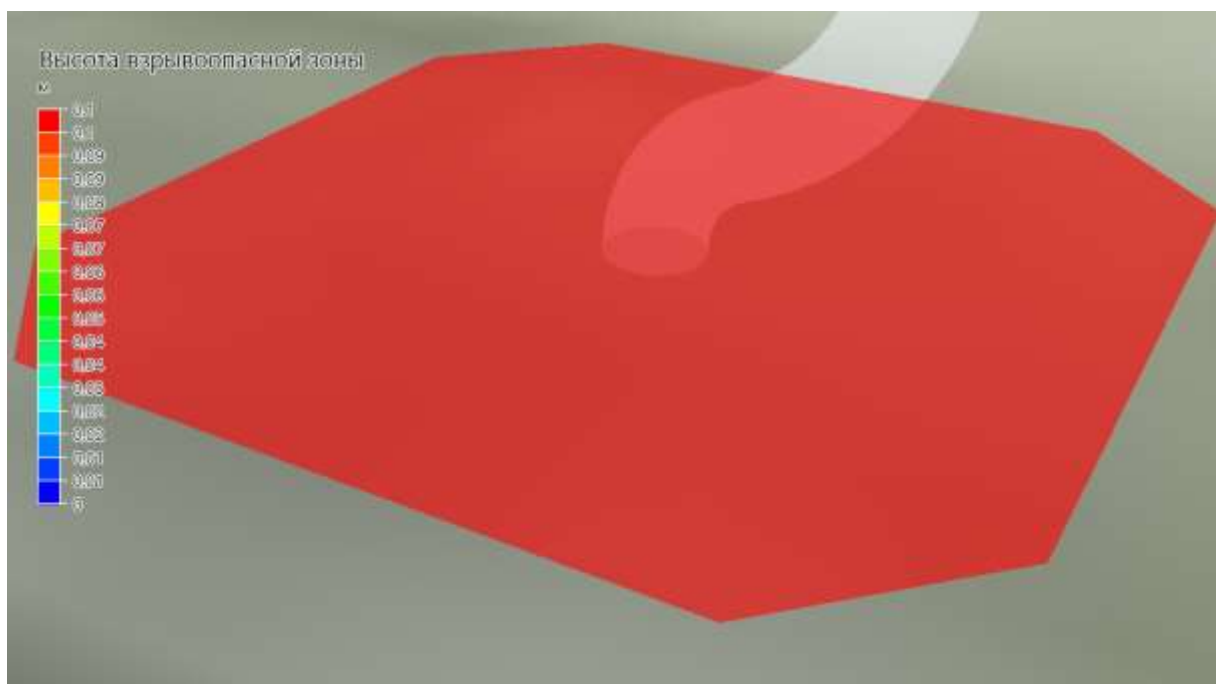
$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{0,284}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 3,1 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{0,284}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,1 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

5.9.3. Разрушение

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: $P = 0,05$.

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

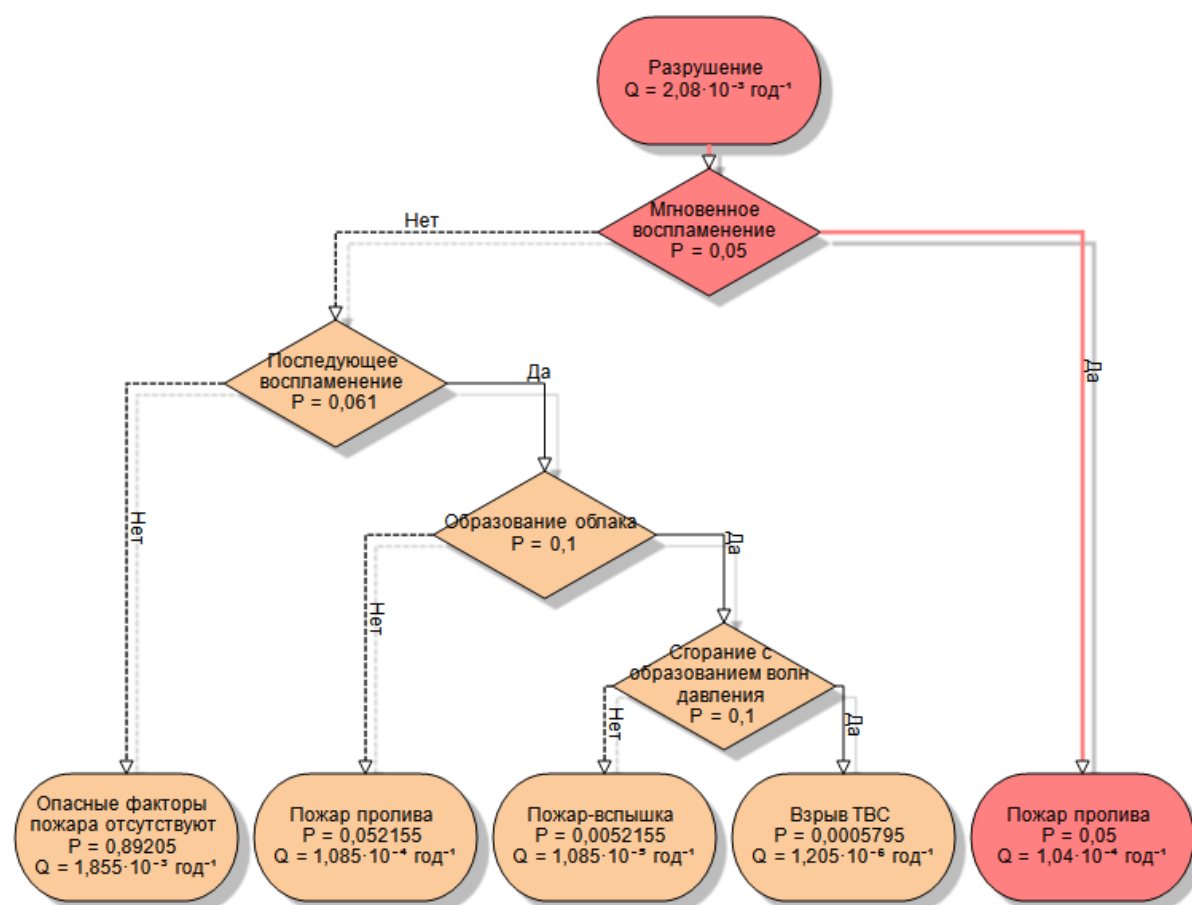


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot (1 - 0,1) = 0,052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,052155 = 1,085 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$

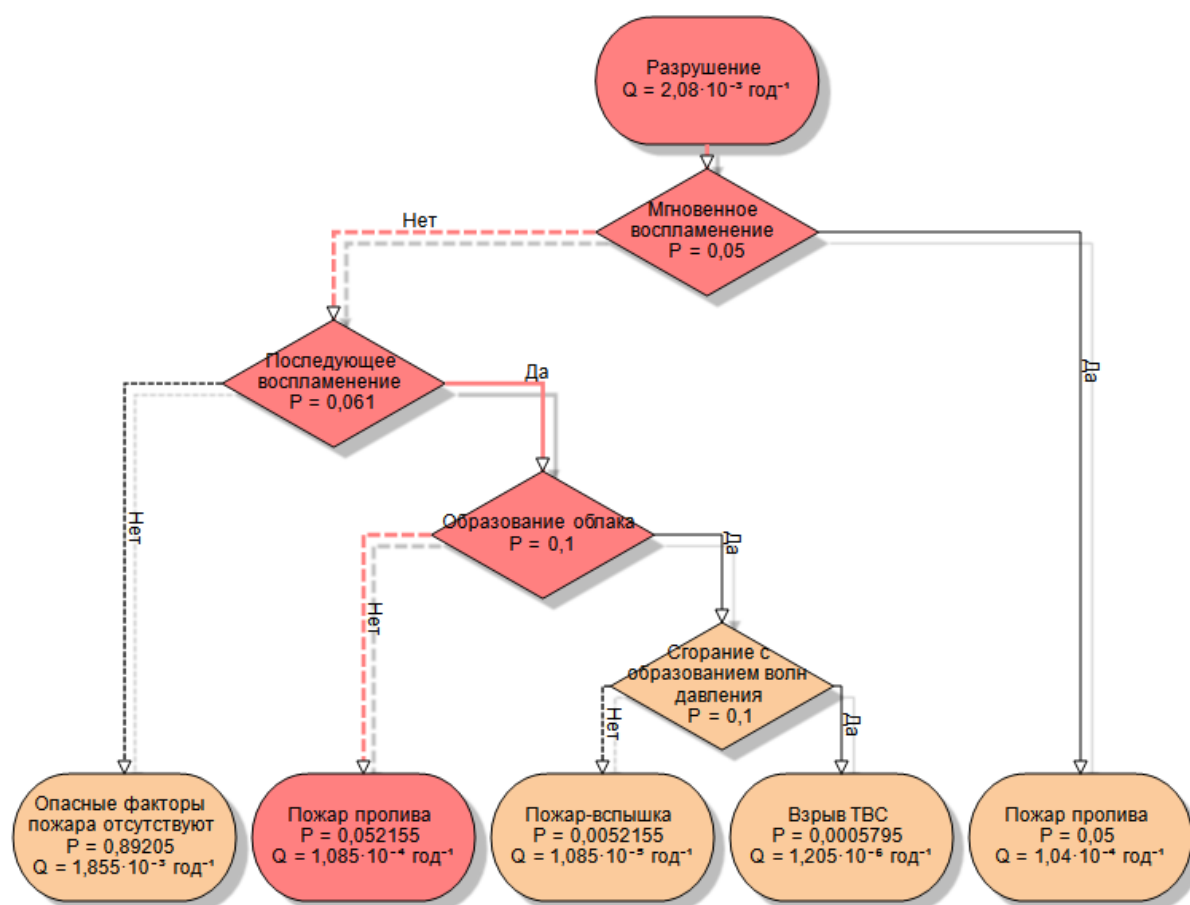


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Расчет теплового потока при ветре 4 м/с.

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 13,1 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_{\Pi} = 395,4 \text{ м}^2$.

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d = \sqrt{\frac{4}{F_{\Pi} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4}{395,4 \cdot \pi}} = 22,4 \text{ м.}$$

Параметр u_* :

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,11 \cdot 9,81 \cdot 22,4}{3,419}}} = 2,08.$$

При $u_* \geq 1$ принимается:

$$\cos \theta = u_*^{-0,5} = 2,08^{-0,5} = 0,693;$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0,693^2} = 0,721.$$

Длина пламени:

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} = 55 \cdot 22,4 \cdot \left(\frac{0,11}{1,14 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 22,4}} \right)^{0,67} \cdot 2,08^{0,21} = 49,3 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5 \cdot d = 13,1 + 0,5 \cdot 22,4 = 24,3 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 49,3}{22,4} = 4,39;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 24,3}{22,4} = 2,17;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,39^2 + (2,17+1)^2 - 2 \cdot 4,39 \cdot (2,17+1) \cdot 0,721} = 3,04;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \cdot \sin\theta} = \sqrt{4,39^2 + (2,17-1)^2 - 2 \cdot 4,39 \cdot (2,17-1) \cdot 0,721} = 3,64;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (2,17^2 - 1) \cdot 0,693^2} = 1,67;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$\begin{aligned} F_V &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \times \right. \\ &\times \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \Bigg\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ - - 3,04 \cdot \arctan(0,61) + - 3,04 \cdot \left[\frac{4,39^2 + (2,17+1)^2 - 2 \cdot 2,17 \cdot (1 + 4,39 \cdot 0,721)}{3,04 \cdot 3,64} \right] \times \right. \\ &\times \arctan \left(\frac{3,04 \cdot 0,61}{3,64} \right) + \frac{0,693}{1,67} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,39 \cdot 2,17 - 1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) + \arctan \left(\frac{1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) \right] \Bigg\} = \\ &= 0,308. \end{aligned}$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$\begin{aligned} F_H &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ &- \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \Bigg\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan \left(\frac{1}{0,61} \right) + \frac{0,721}{1,67} \cdot \left[\arctan \left(\frac{4,39 \cdot 2,17 - 1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) + \arctan \left(\frac{1,92^2 \cdot 0,721}{1,92 \cdot 1,67} \right) \right] - \right. \\ &- \left[\frac{4,39^2 + (2,17+1)^2 - 2 \cdot 2,17 \cdot (1 + 4,39 \cdot 0,721)}{3,04 \cdot 3,64} \right] \cdot \arctan \left(\frac{3,04 \cdot 0,61}{3,64} \right) \Bigg\} = \\ &= 0,498. \end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,308^2 + 0,498^2} = 0,586.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (24,3 - 0,5 \cdot 22,4)) = 0,991.$$

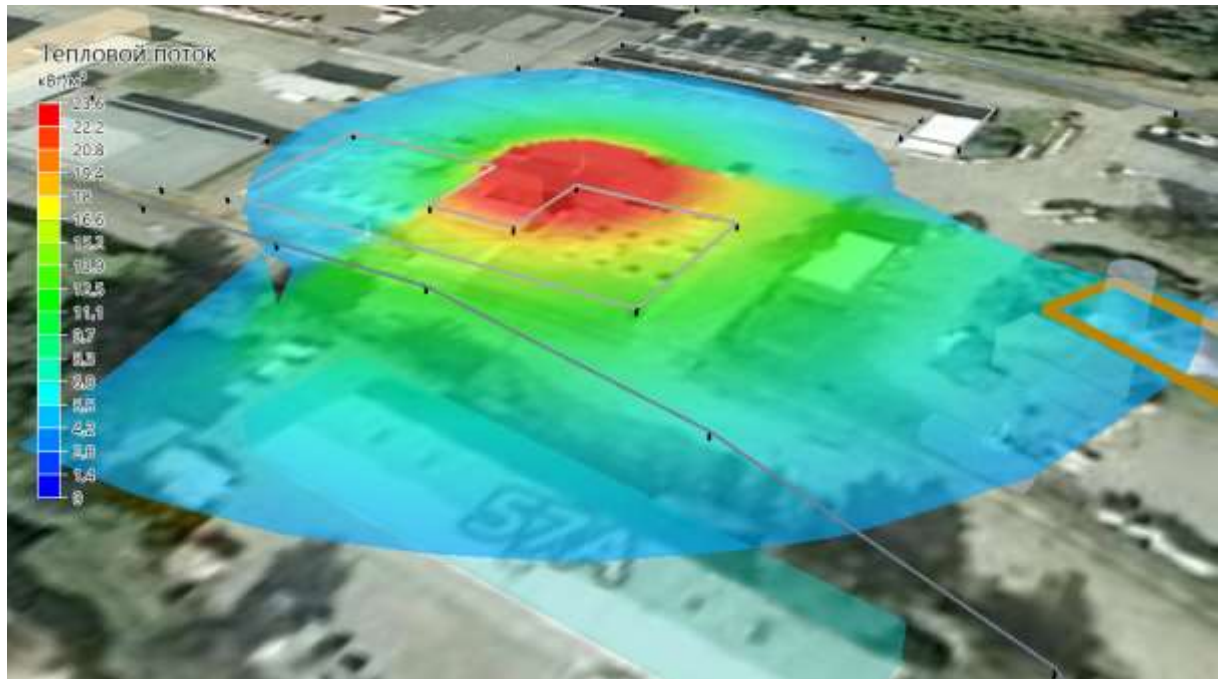
Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени:

$$\begin{aligned} E_f &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}) = \\ &= 140 \cdot e^{-0,12 \cdot 22,4} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot 22,4}) = 28,1 \text{ кВт/м}^2. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения:

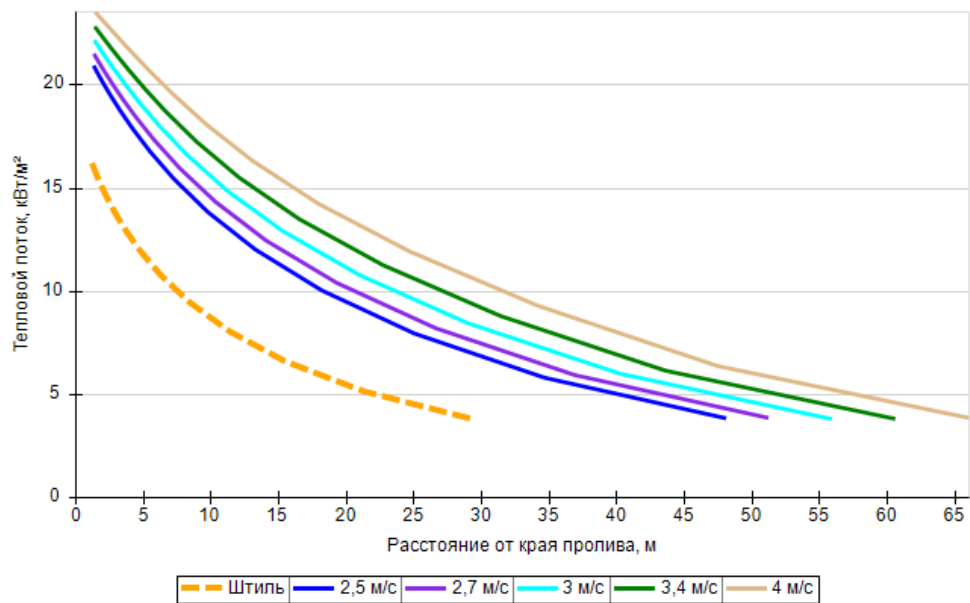
$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 28,1 \cdot 0,586 \cdot 0,991 = 16,32 \text{ кВт/м}^2.$$

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



Поле величин теплового потока

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



Варианты значений теплового потока при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,0005795.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0005795 = 1,205 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$

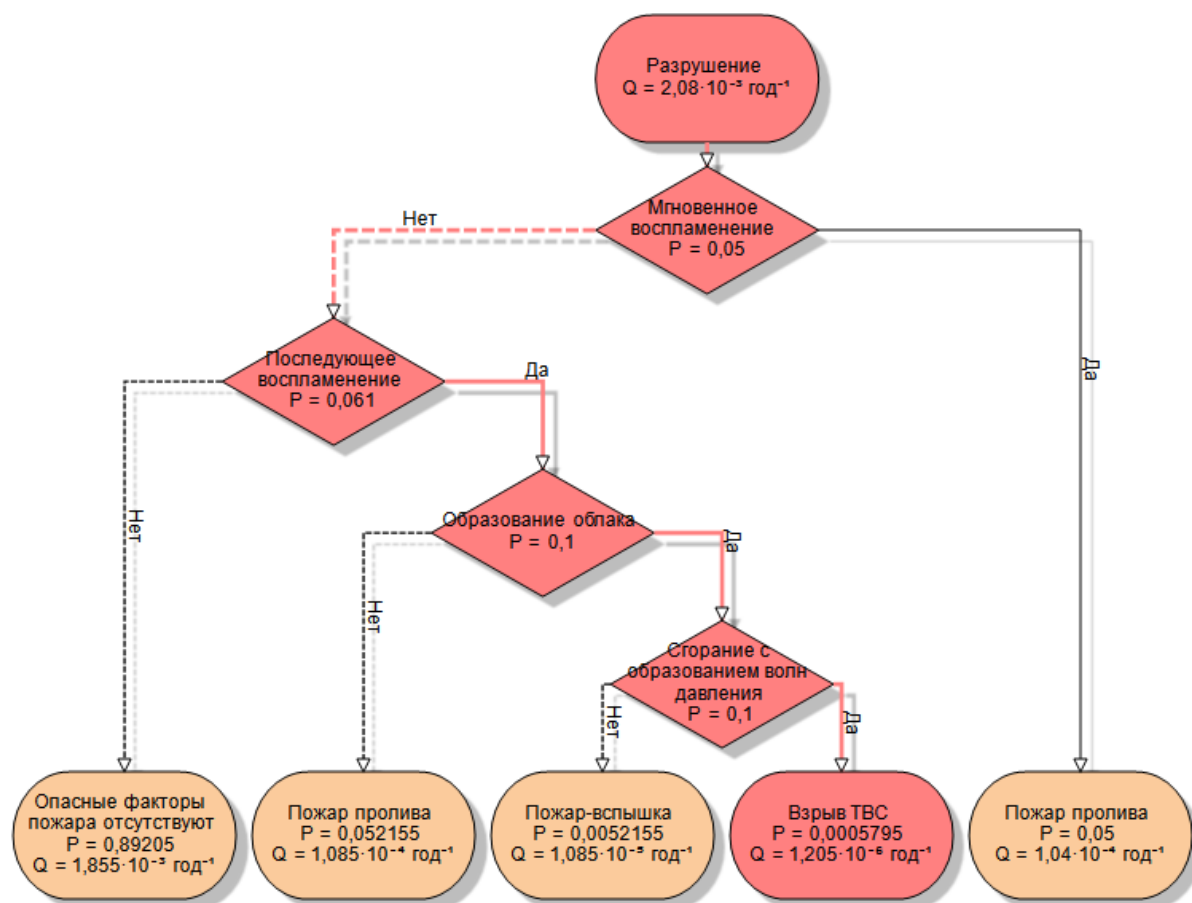


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

Сольвент по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 1 ([3], табл. ПЗ.1).

Класс загроможденности пространства — III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака — 2.

Удельное энерговыделение:

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

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

$$M_T = m_{ц} \cdot Z = 19,738 \cdot 0,1 = 1,974 \text{ кг.}$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_T \cdot E_{уд} = 1,974 \cdot 44 \text{ МДж} = 86,85 \text{ МДж.}$$

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

$$E = 86,85 \cdot 2 = 173,69 \text{ МДж.}$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 19,738^{1/6} = 70,7 \text{ м/с.}$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 500$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 70,1 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{70,1}{(173,69 \cdot 10^6 / 101000)^{1/3}} = 5,85.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \cdot P_0 = \\ &= \left(\frac{500^2}{340^2} \right) \cdot \left(\frac{7 - 1}{7} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{5,85} - \frac{0,14}{5,85^2} \right) \cdot 101000 = 2,578 \cdot 10^4 \text{ Па.} \end{aligned}$$

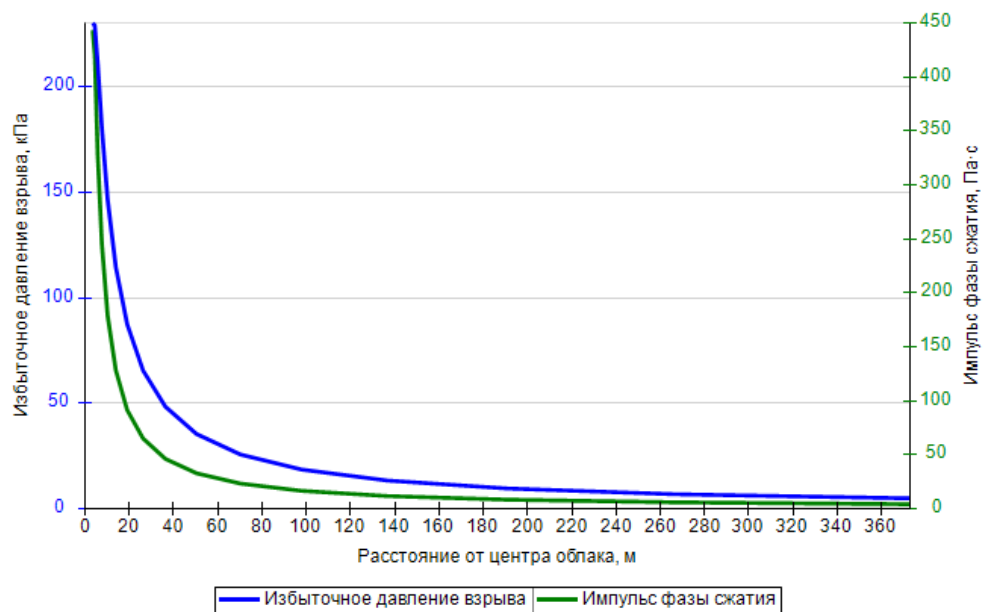
Безразмерный импульс:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 1,261 \cdot (1 - 0,4 \cdot 1,261) \cdot \left(\frac{0,06}{5,85} + \frac{0,01}{5,85^2} - \frac{0,0025}{5,85^3} \right) = 0,007; \\ W &= \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{500}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 1,261. \end{aligned}$$

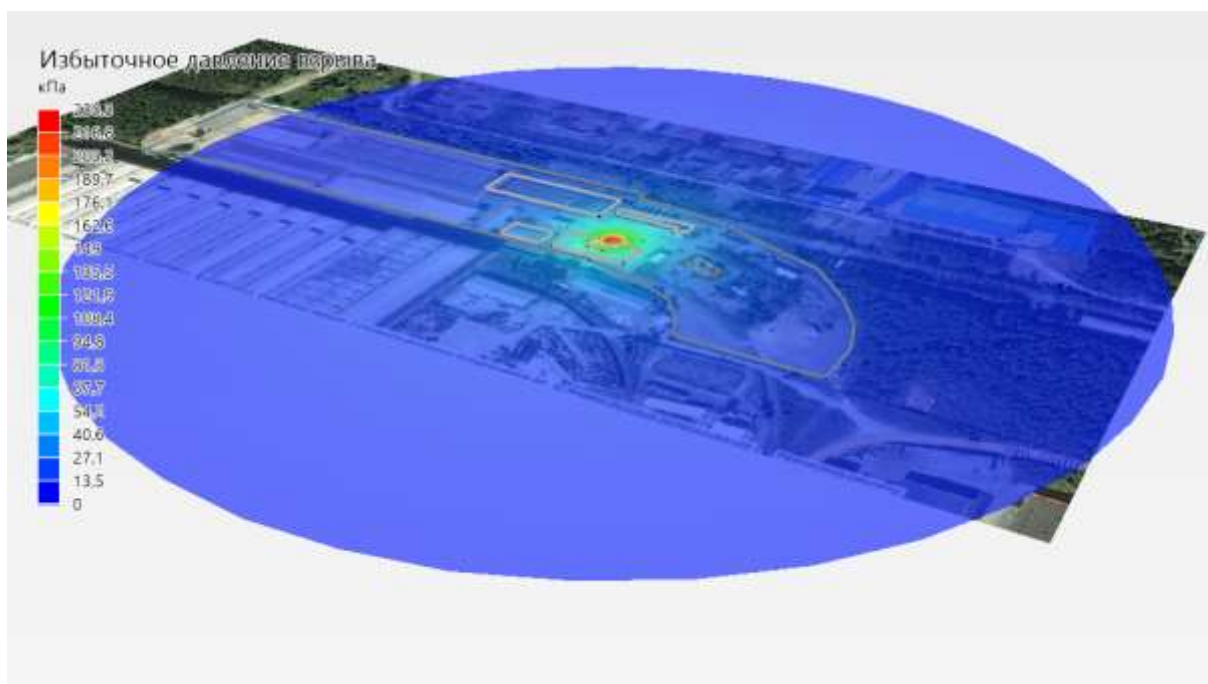
Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,007 \cdot 101000^{2/3} \cdot (173,69 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 23,4 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака.



Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия



Поле величин избыточного давления взрыва

Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,05) \cdot 0,061 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,1) = 0,0052155.$$

Частота возникновения: $Q = Q_{\text{ав.с.}} \cdot P = 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0052155 = 1,085 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$

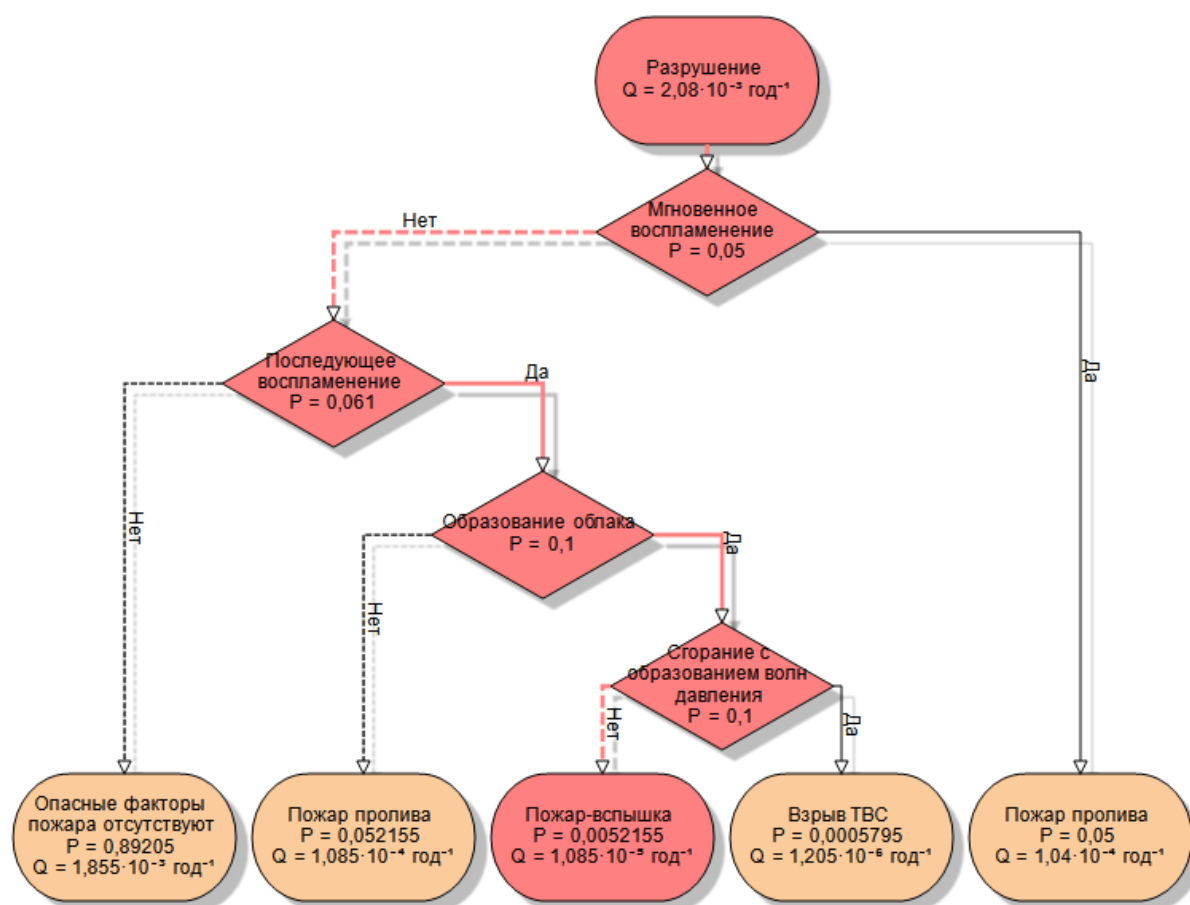


Диаграмма сценария развития аварийной ситуации

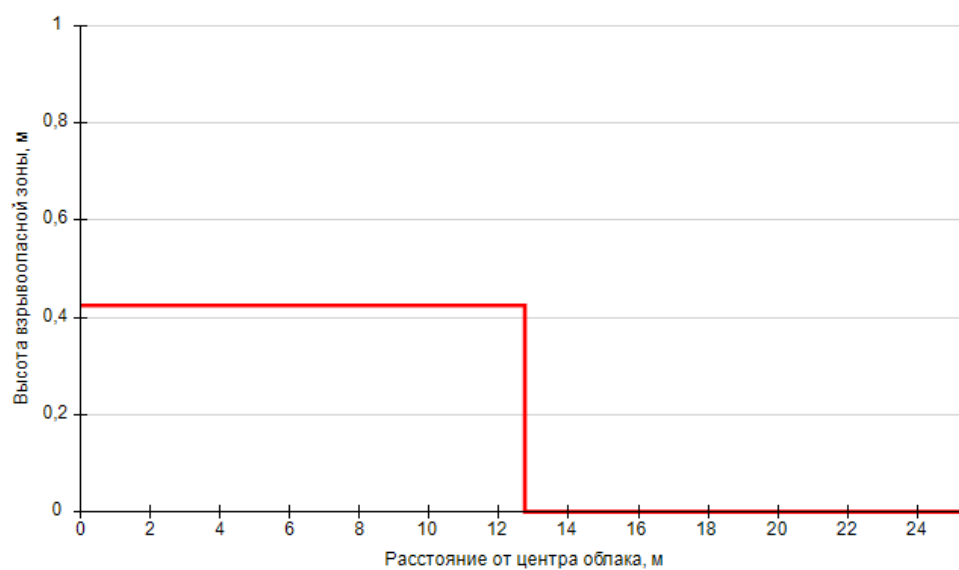
Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 36 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 4,461 \text{ кг/м}^3$.

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

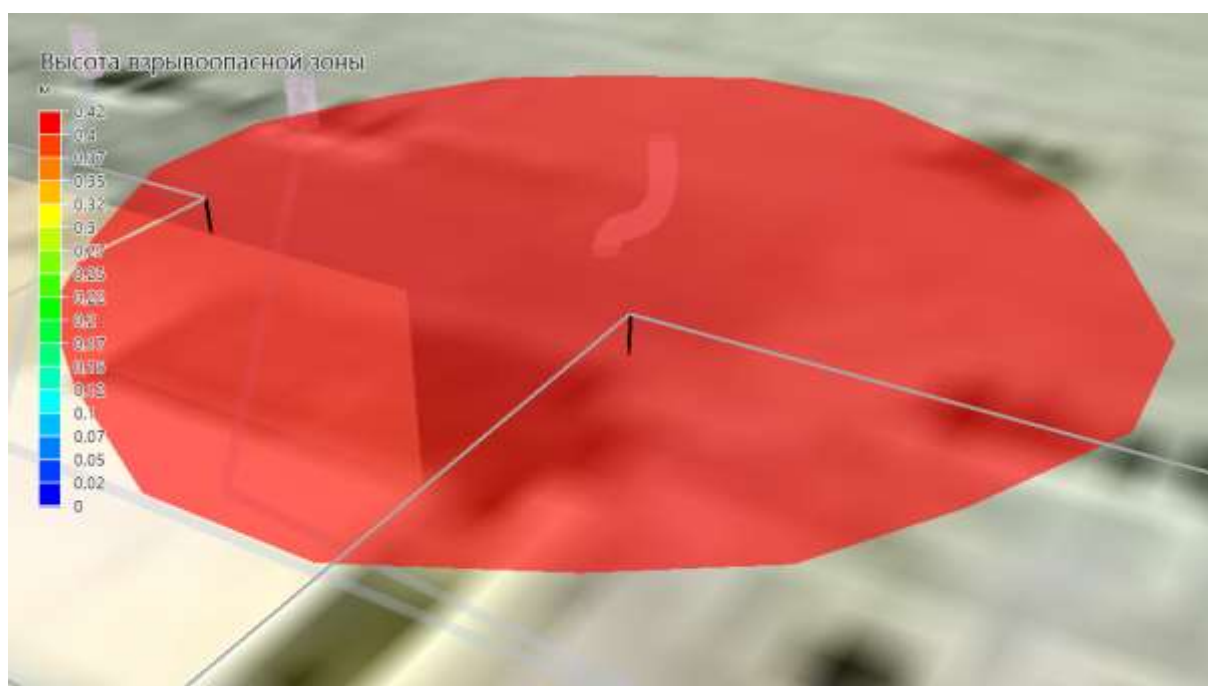
$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left(\frac{19,738}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 12,7 \text{ м.}$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left(\frac{19,738}{4,461 \cdot 1} \right)^{0,33} = 0,42 \text{ м.}$$



Размеры взрывоопасной зоны



Расположение взрывоопасной зоны

6. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей

6.1. Ж/д цистерна (растворители)

6.1.1. Разгерметизация 25 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $20,64$ кВт/м².

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м² составляет:

$$x = r_4 - r' = 64,5 - 12,8 = 51,7 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

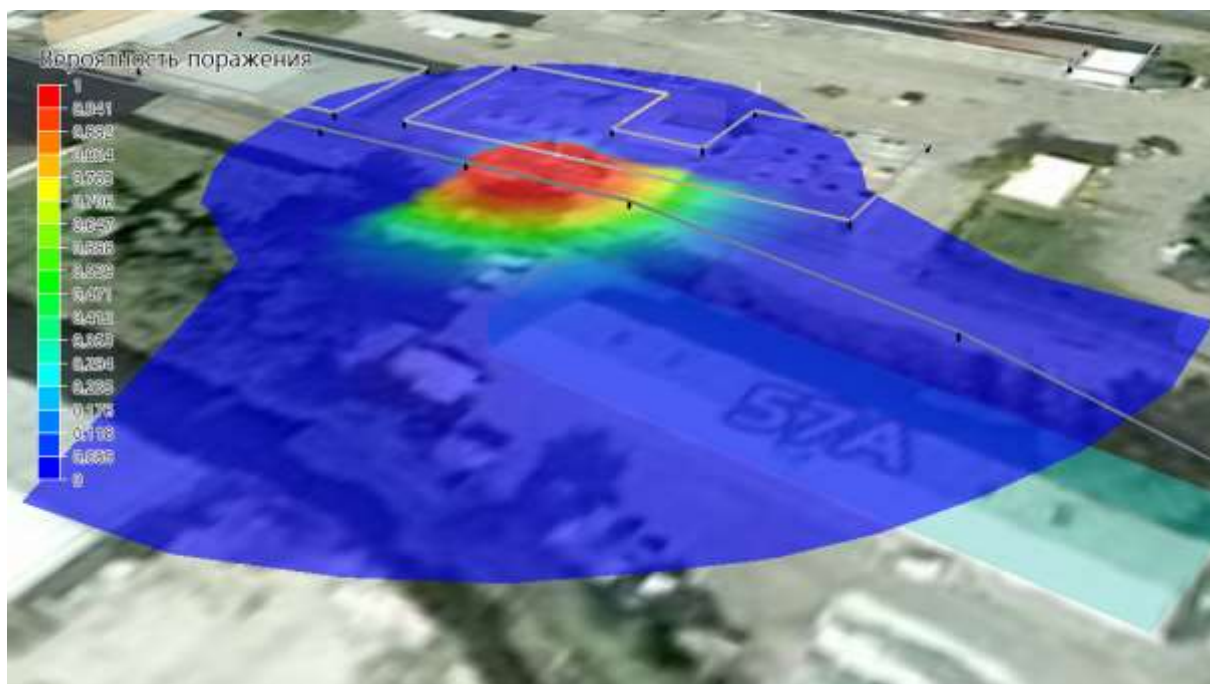
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{51,7}{5} = 15,3 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,3 \cdot 20,64^{4/3}) = 4,523. \end{aligned}$$

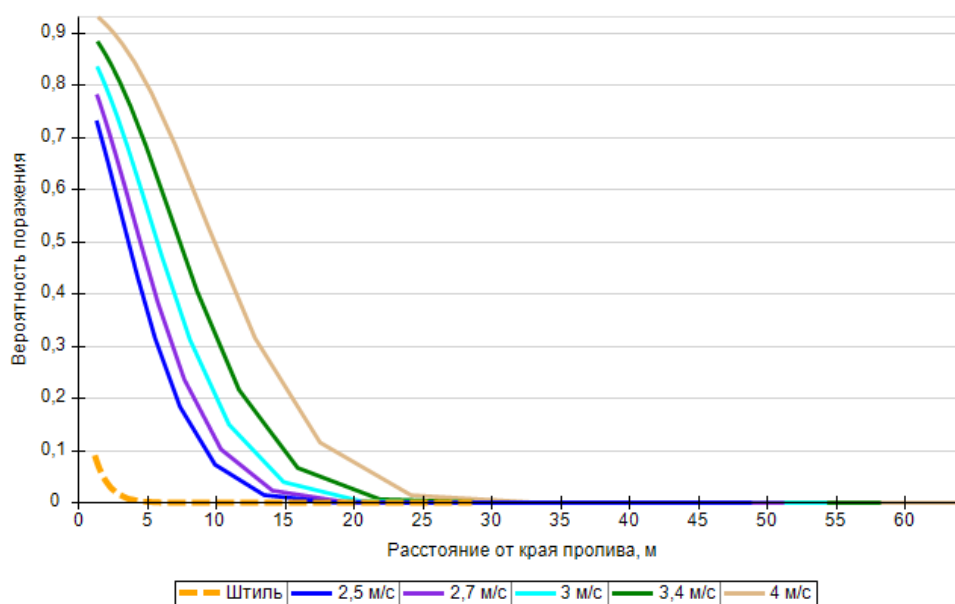
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет $0,316147$.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 54,5 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,57 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 18,1$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

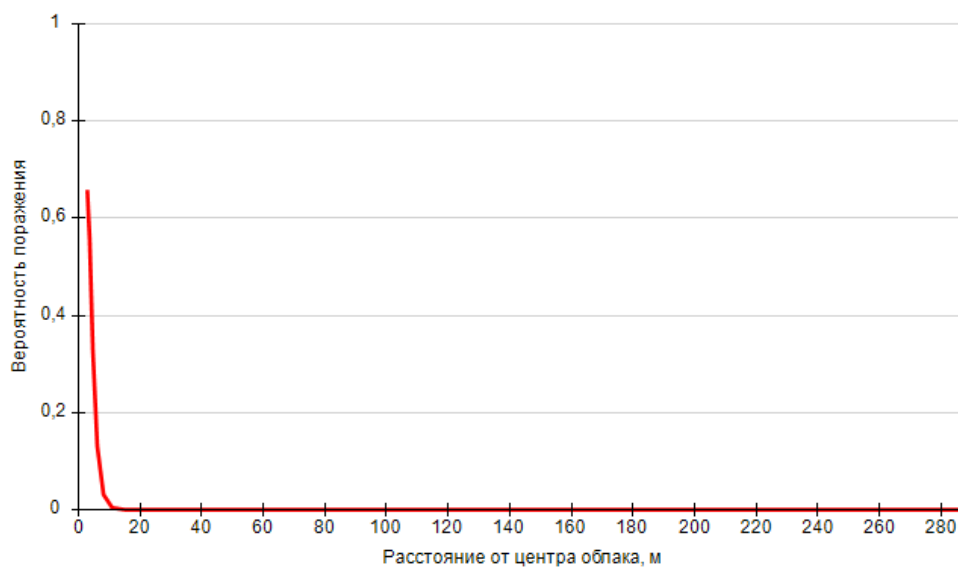
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,57 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{18,1}\right)^{9,3} = 162540766610,321.$$

Значение пробит-функции составляет:

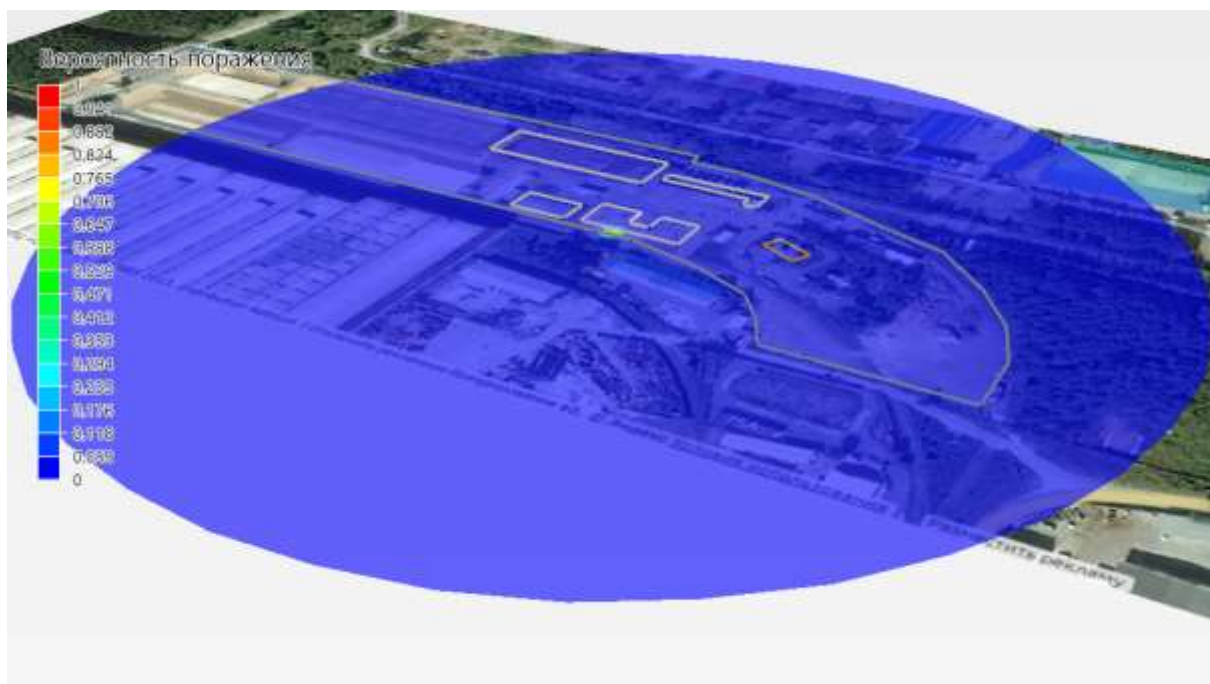
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 162540766610,321 = -1,712$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



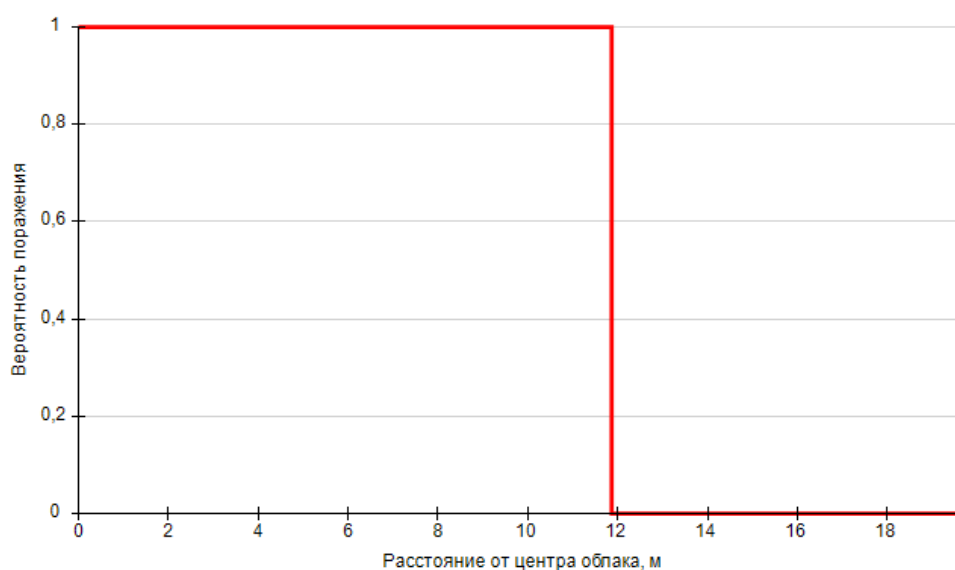
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

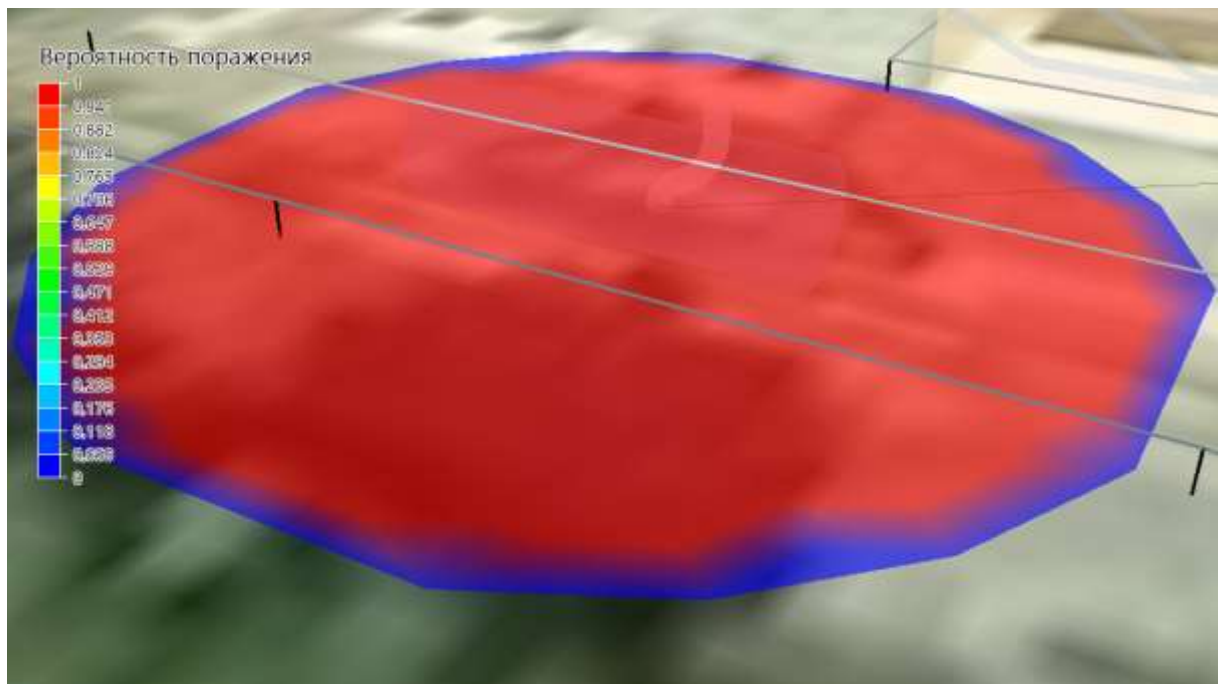
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 9,9 \text{ м} = 11,9 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.1.2. Разгерметизация 100 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 15,7$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $12,72 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 80,1 - 15,7 = 64,4 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

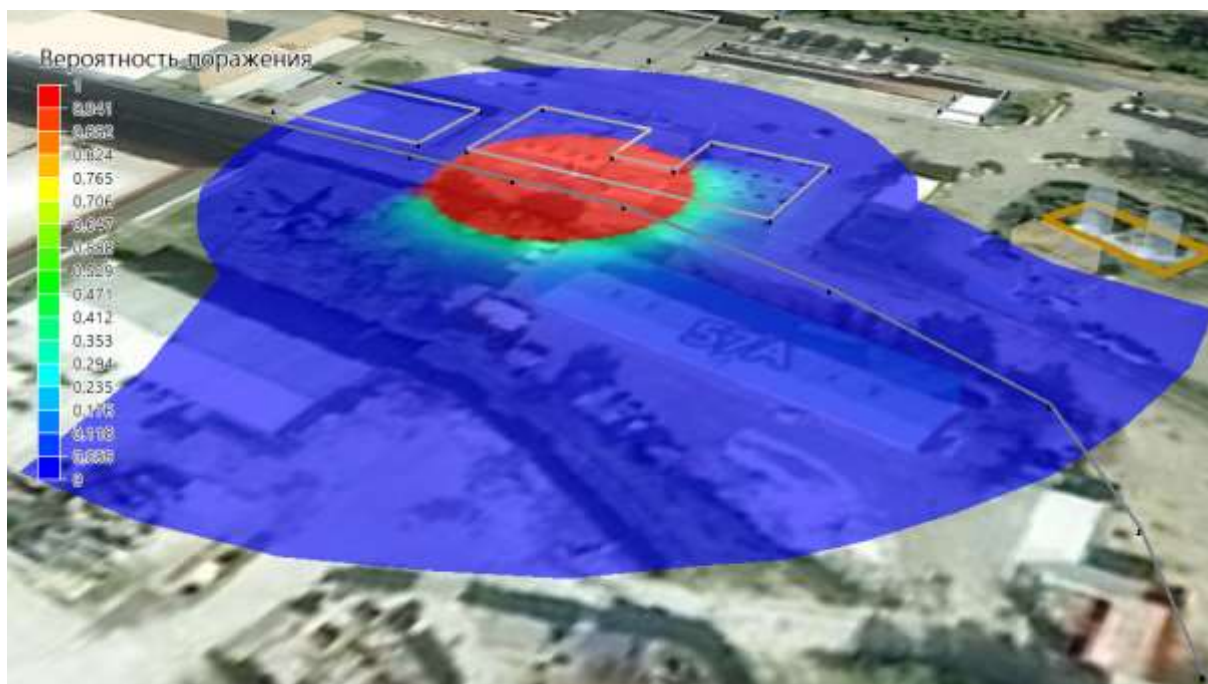
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{64,4}{5} = 17,9 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(17,9 \cdot 12,72^{4/3}) = 3,263. \end{aligned}$$

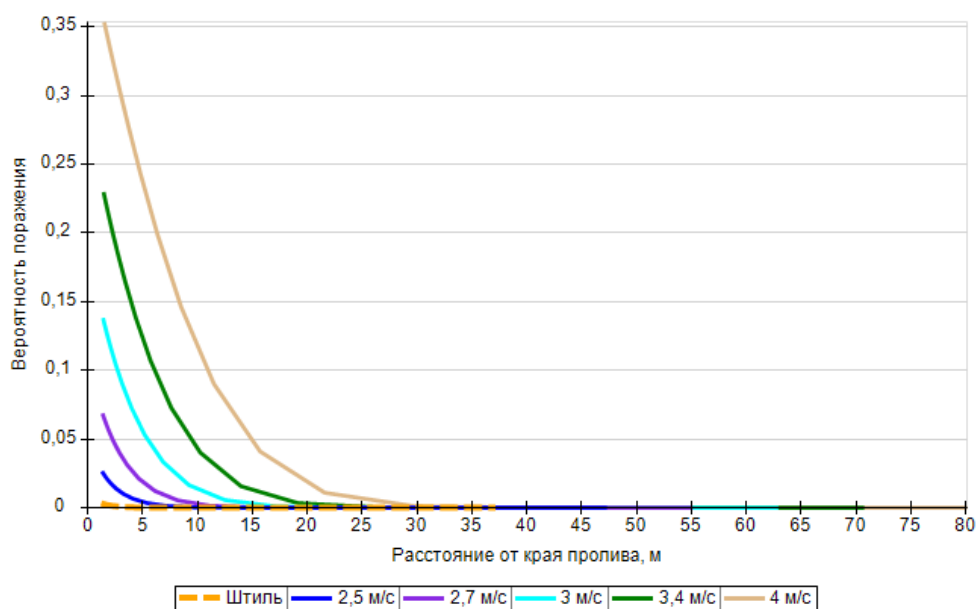
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,040988.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 106,8 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,581 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 35,7$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

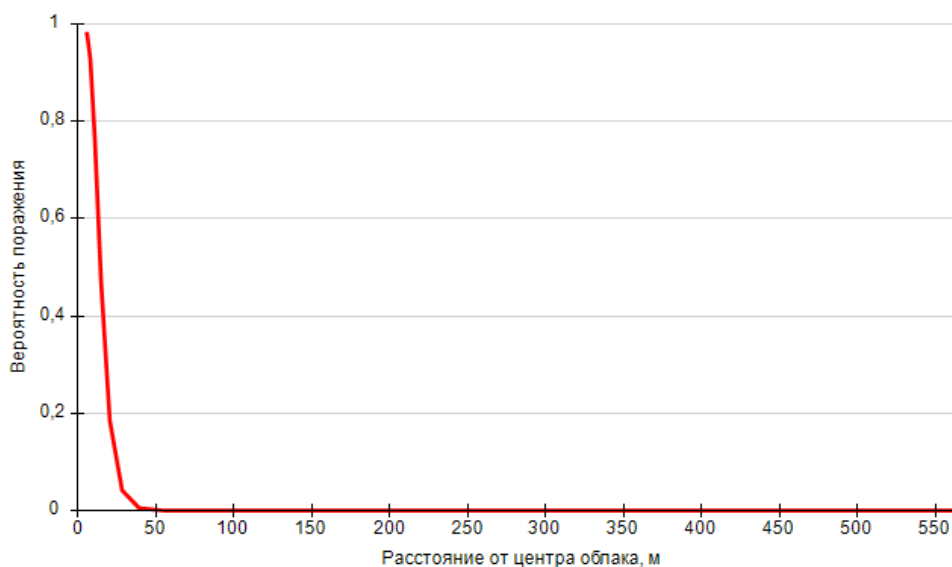
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,581 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{35,7} \right)^{9,3} = 285589811,692.$$

Значение пробит-функции составляет:

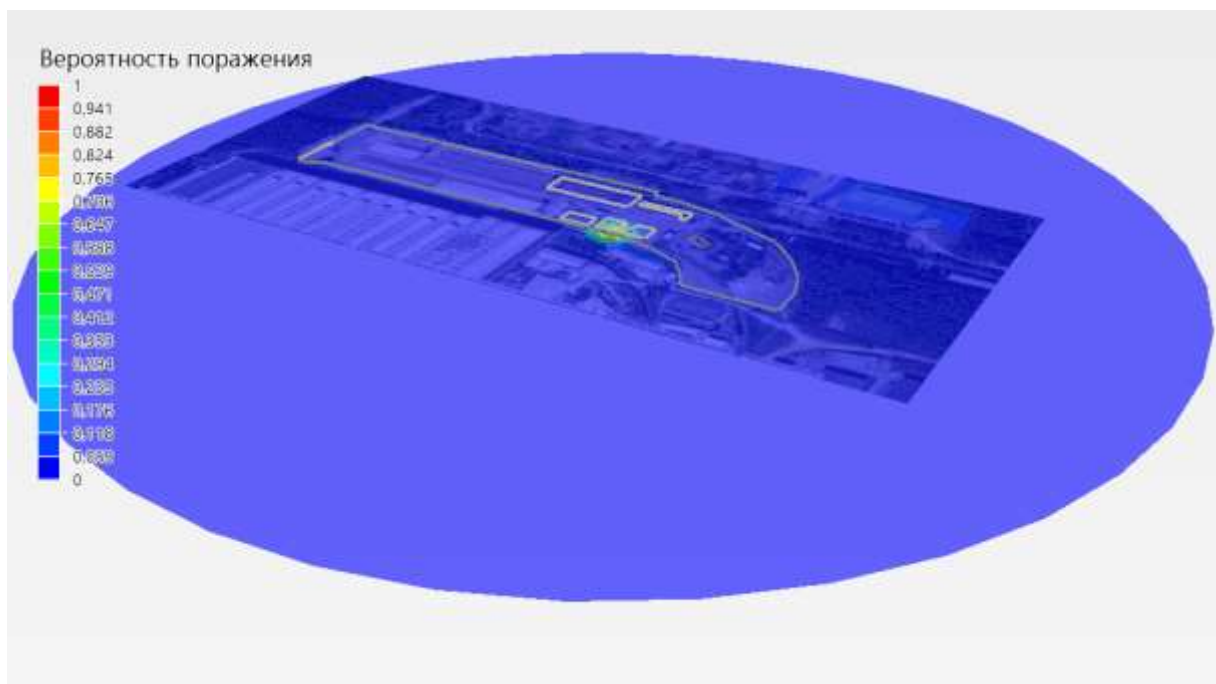
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 285589811,692 = -0,062$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



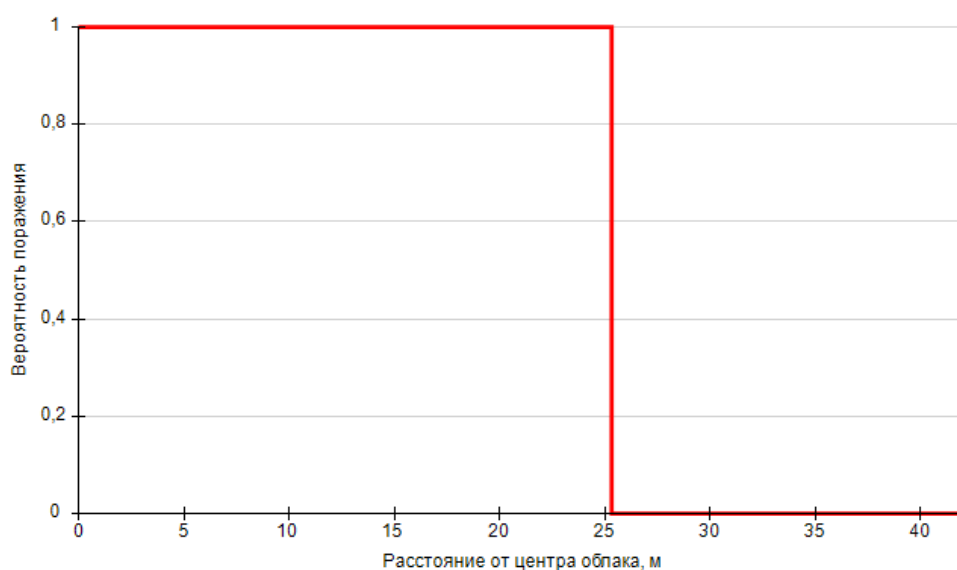
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

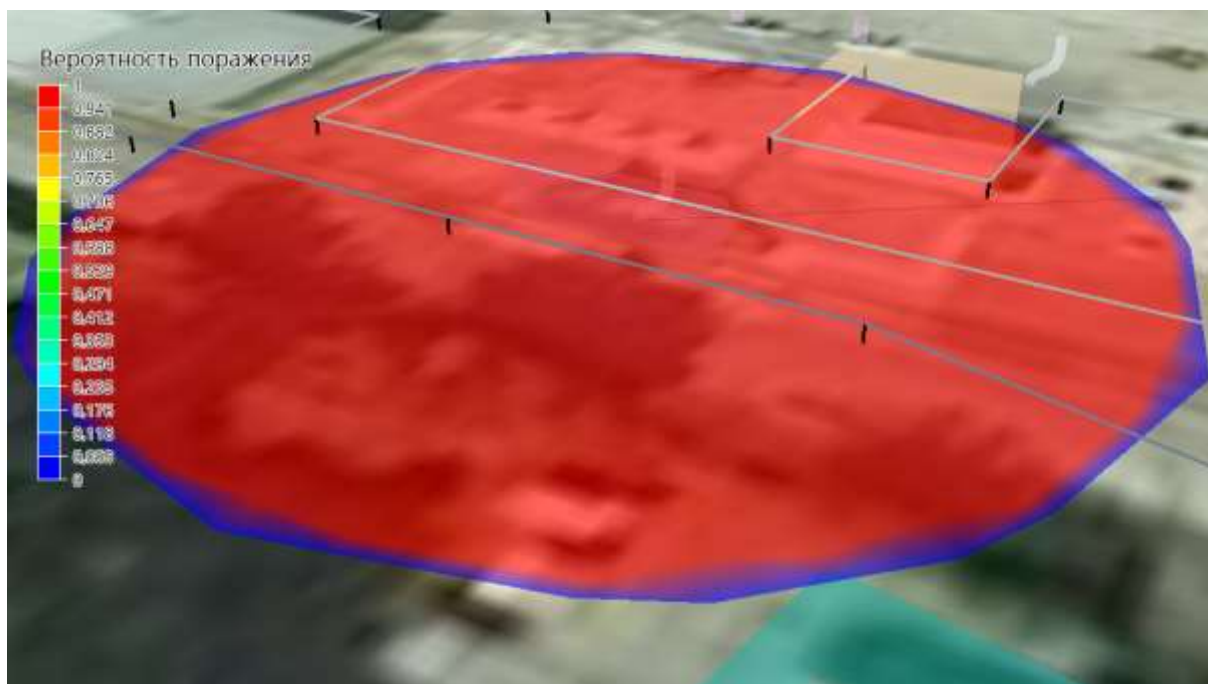
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 21,1 \text{ м} = 25,3 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.1.3. Разрушение

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 15,7$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $12,72 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 80,1 - 15,7 = 64,4 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

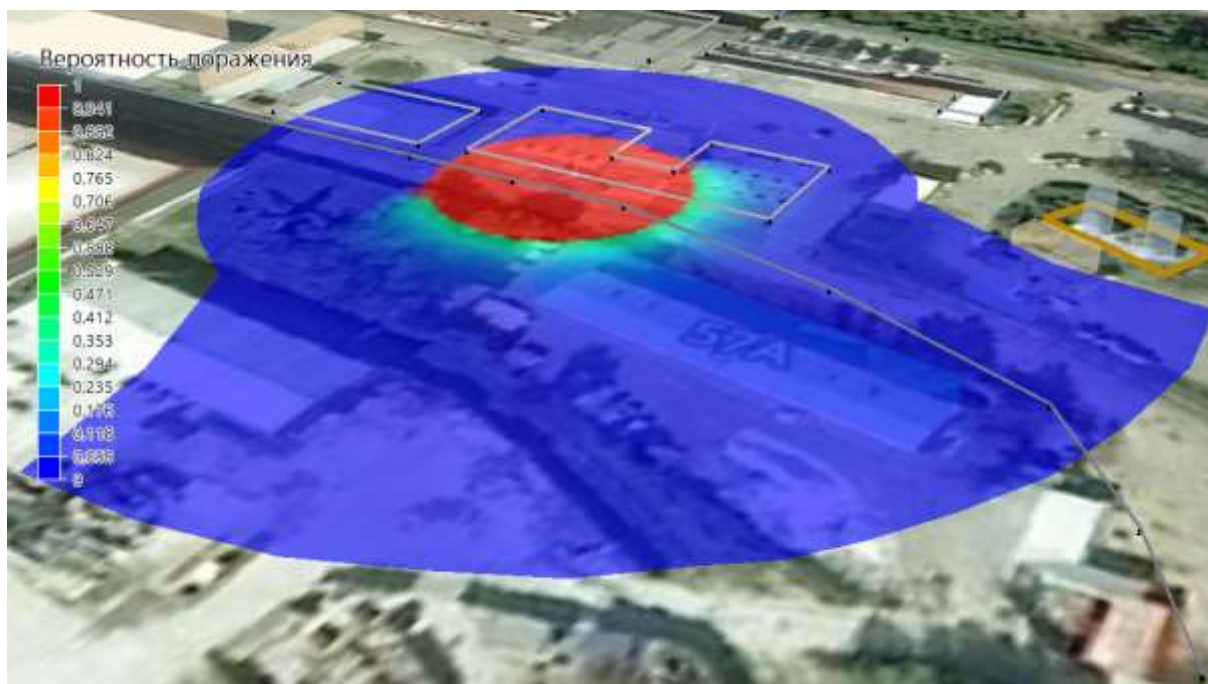
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{64,4}{5} = 17,9 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(17,9 \cdot 12,72^{4/3}) = 3,263. \end{aligned}$$

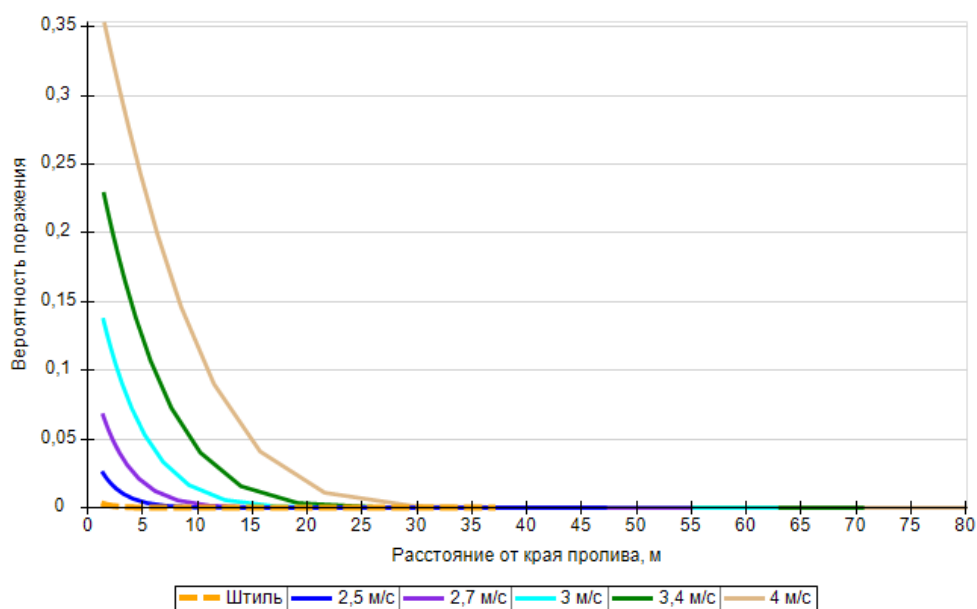
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,040988.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 106,8 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,581 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 35,7$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

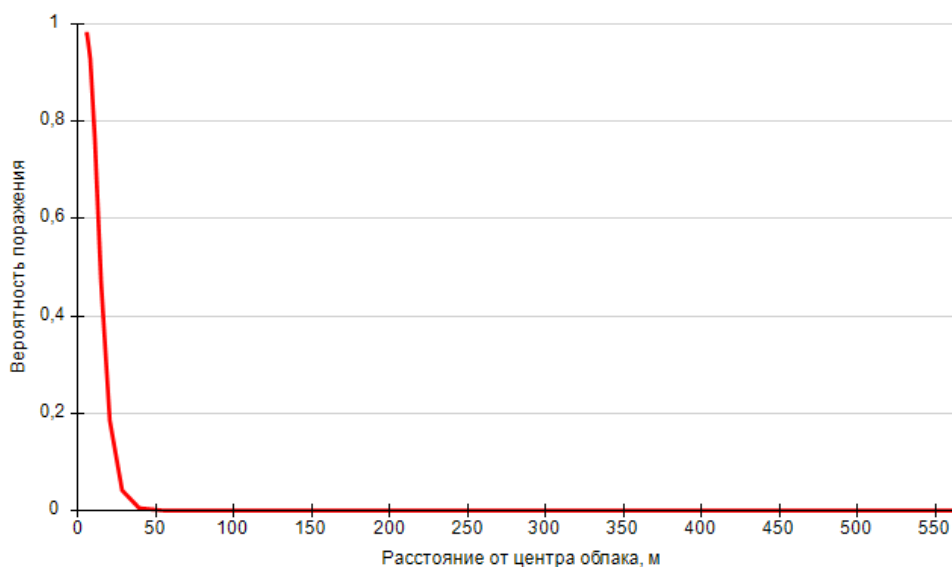
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,581 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{35,7} \right)^{9,3} = 285589811,692.$$

Значение пробит-функции составляет:

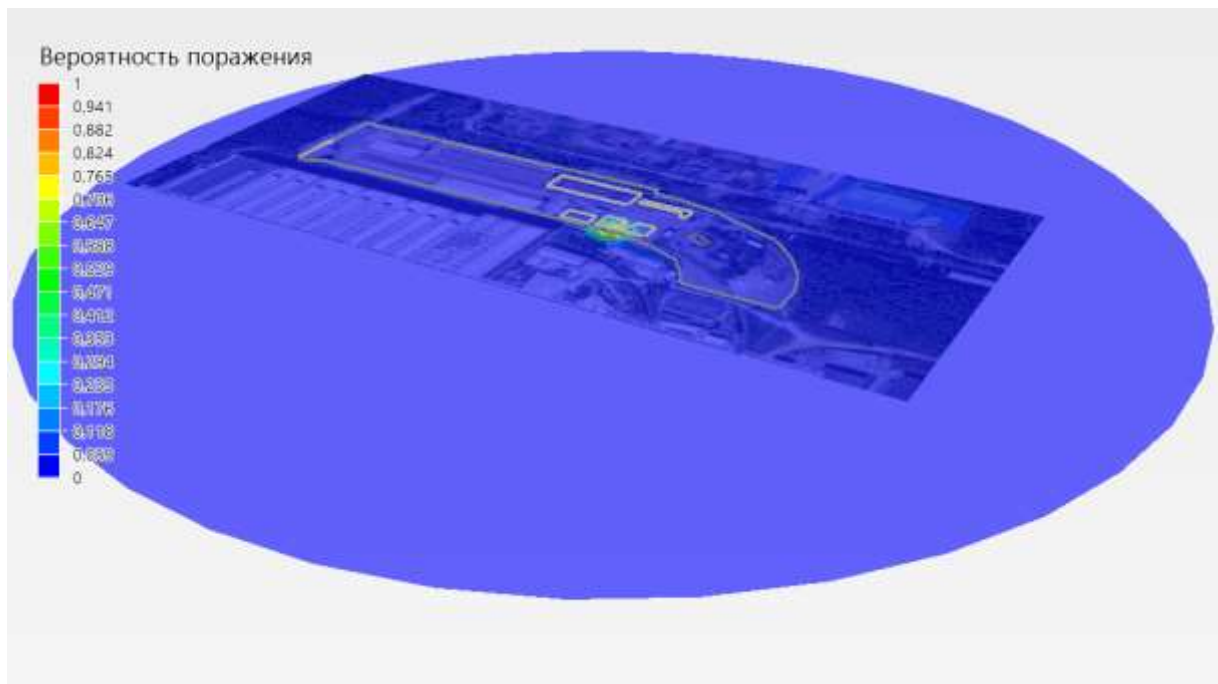
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 285589811,692 = -0,062$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



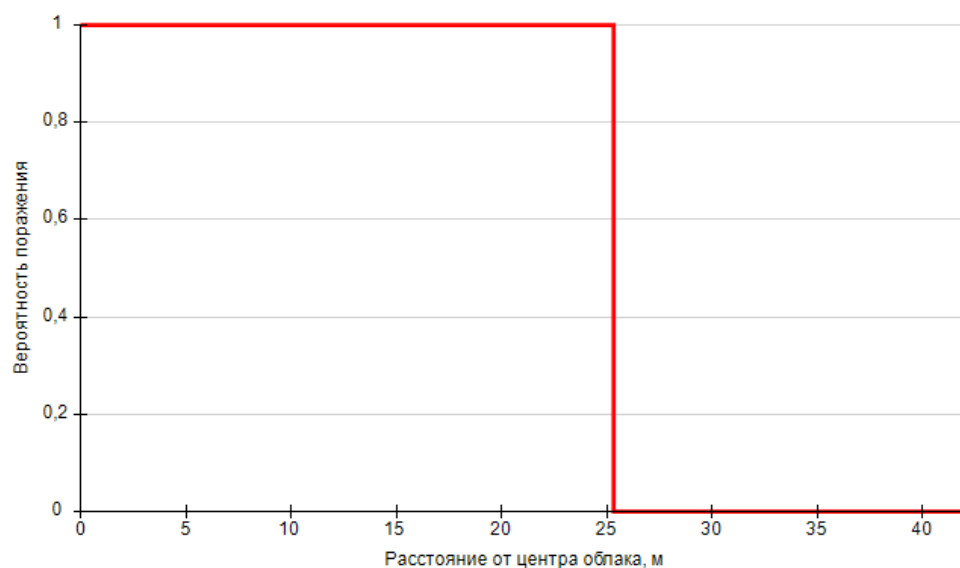
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

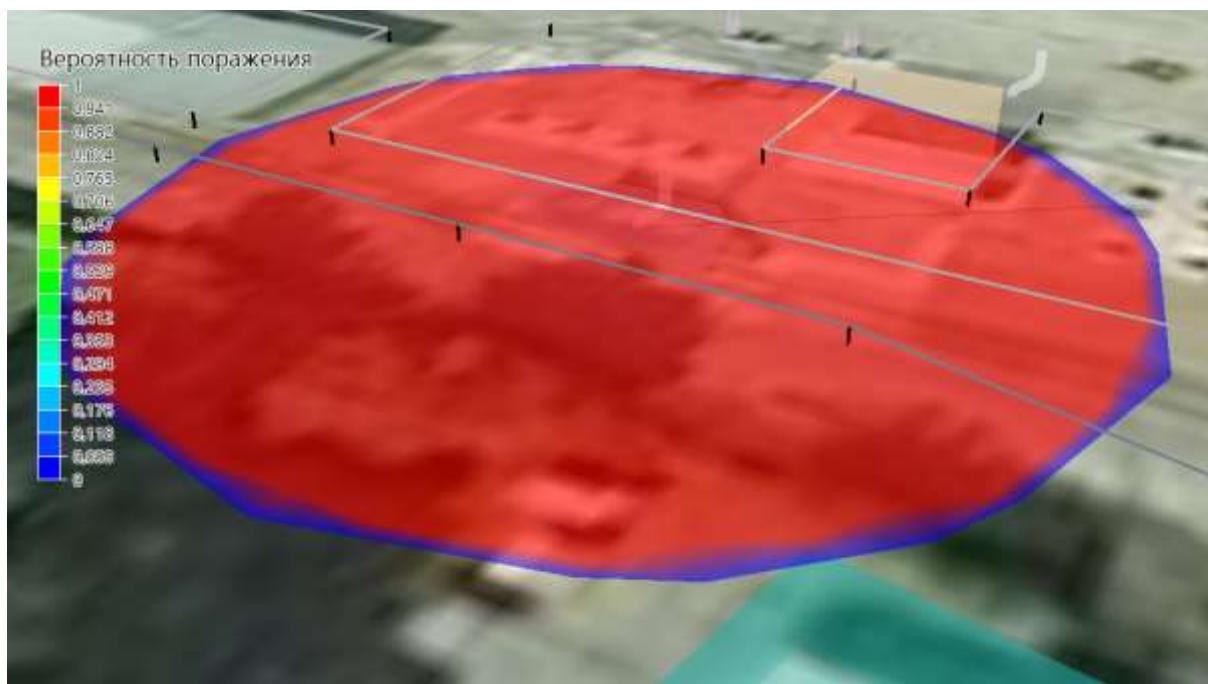
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 21,1 \text{ м} = 25,3 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.1.4. Пожар по всей поверхности

Пожар по всей поверхности

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,5$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $28,01 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 62,9 - 12,5 = 50,4 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

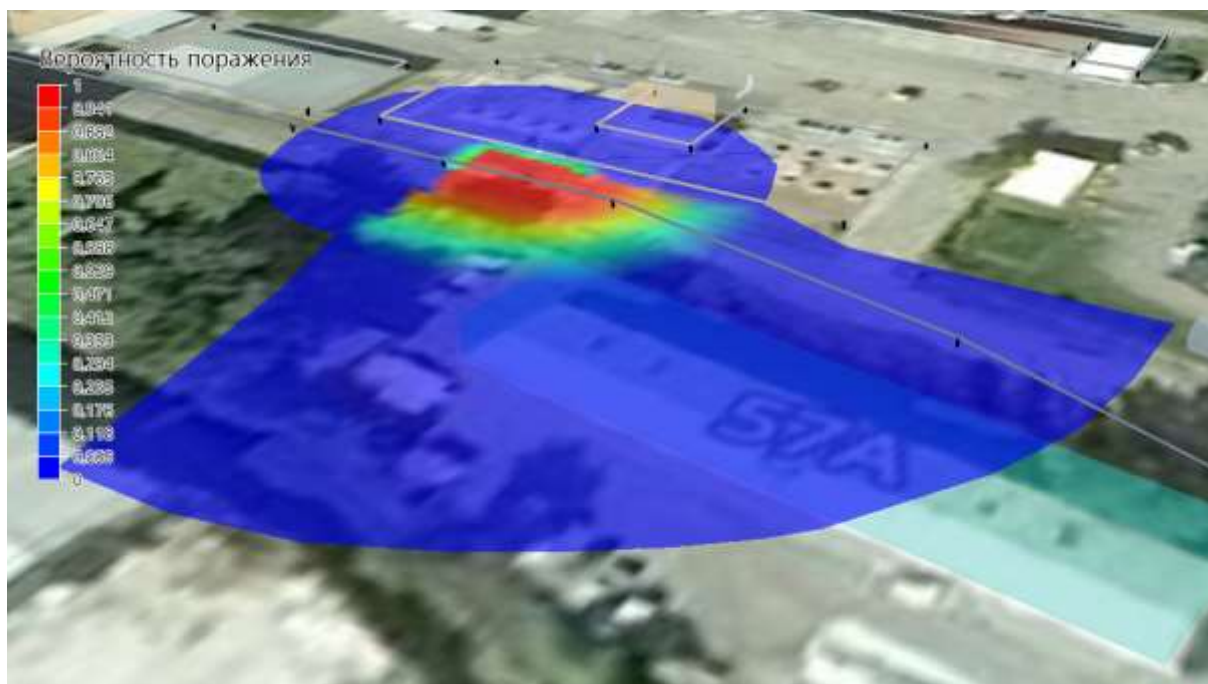
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{50,4}{5} = 15,1 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,1 \cdot 28,01^{4/3}) = 5,523. \end{aligned}$$

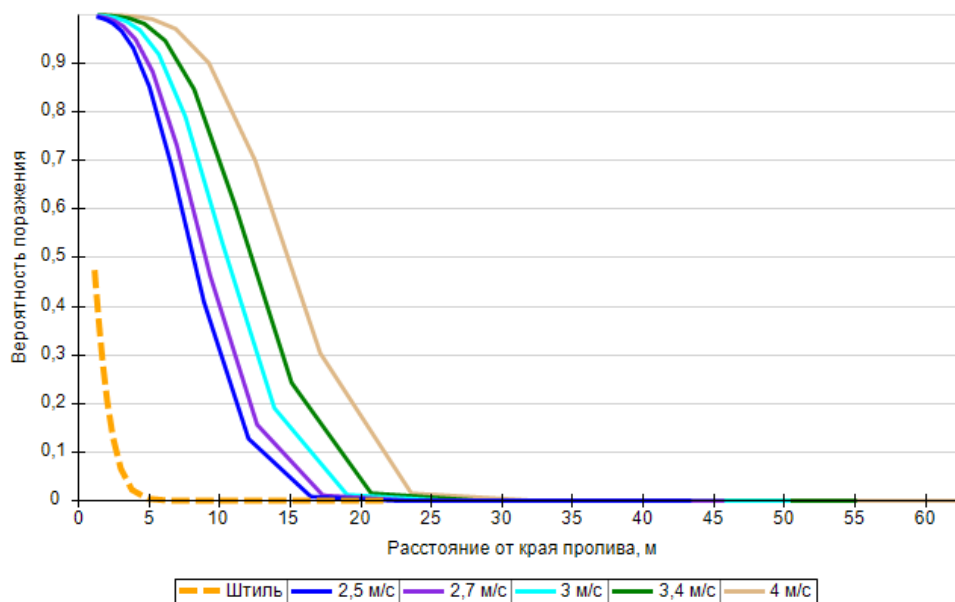
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,699955.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

6.2. Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей

6.2.1. Разгерметизация 5 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 5,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $24,78 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 27 - 5,8 = 21,2 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

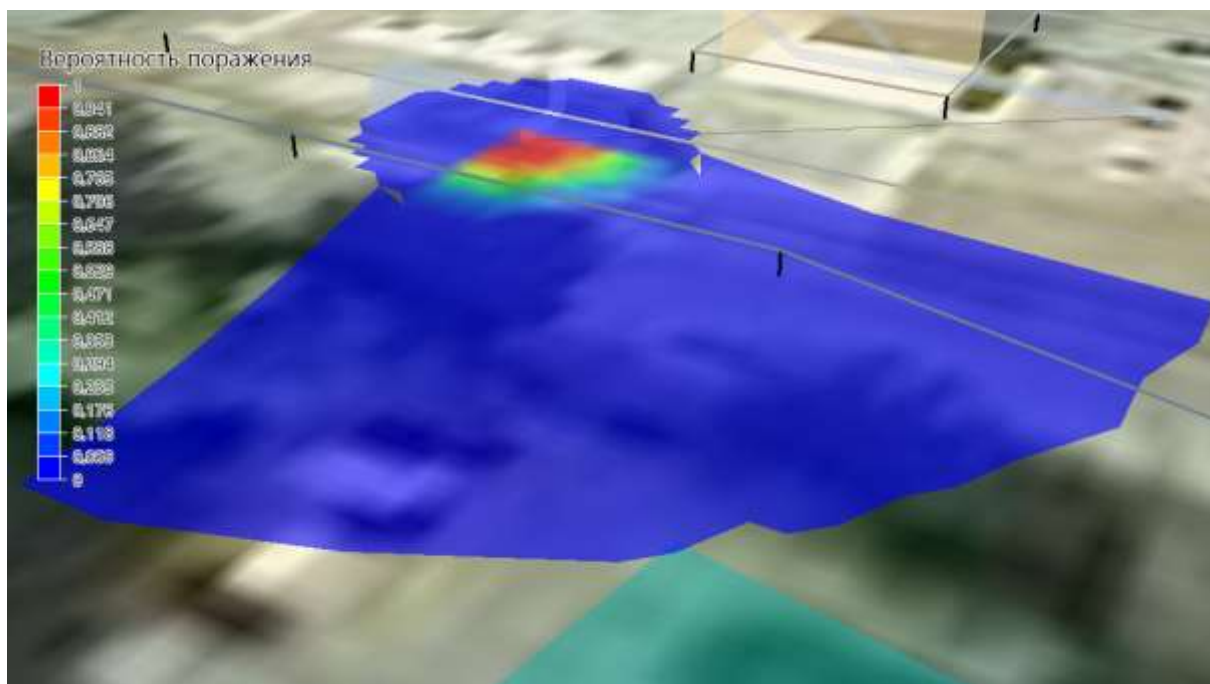
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{21,2}{5} = 9,2 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(9,2 \cdot 24,78^{4/3}) = 3,847. \end{aligned}$$

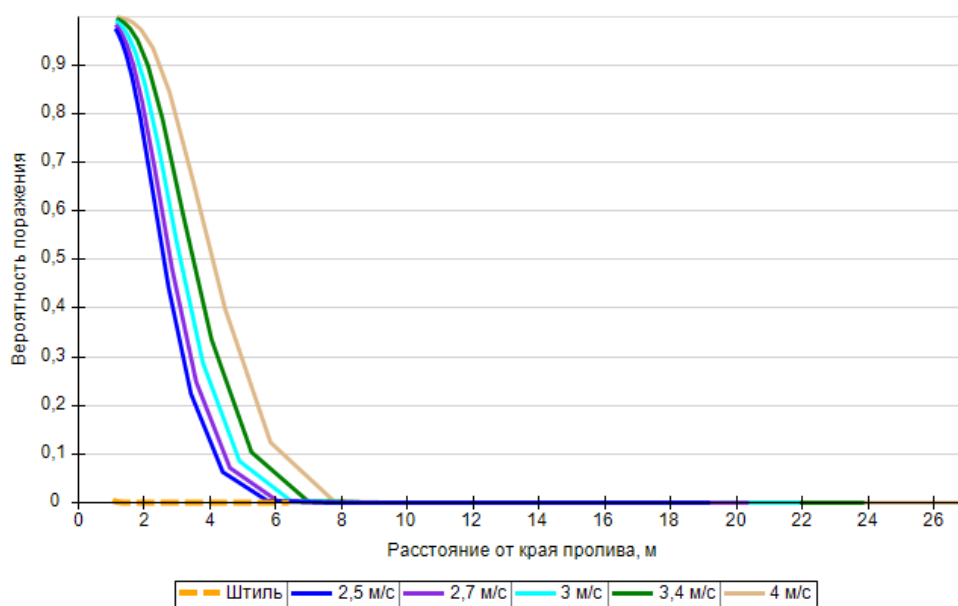
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,124139.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 9,1 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,322 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 2,5$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

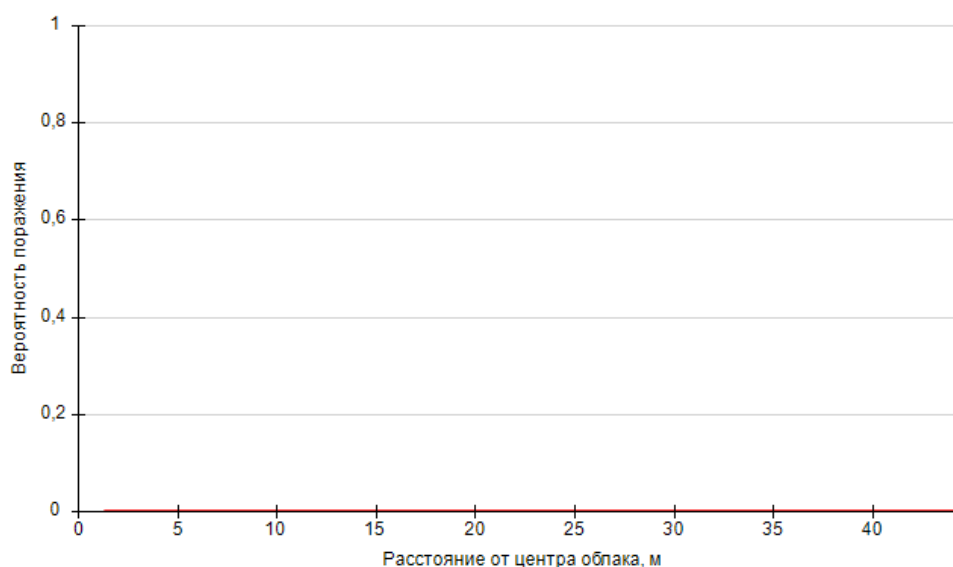
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,322 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{2,5}\right)^{9,3} = 18862656087405700000.$$

Значение пробит-функции составляет:

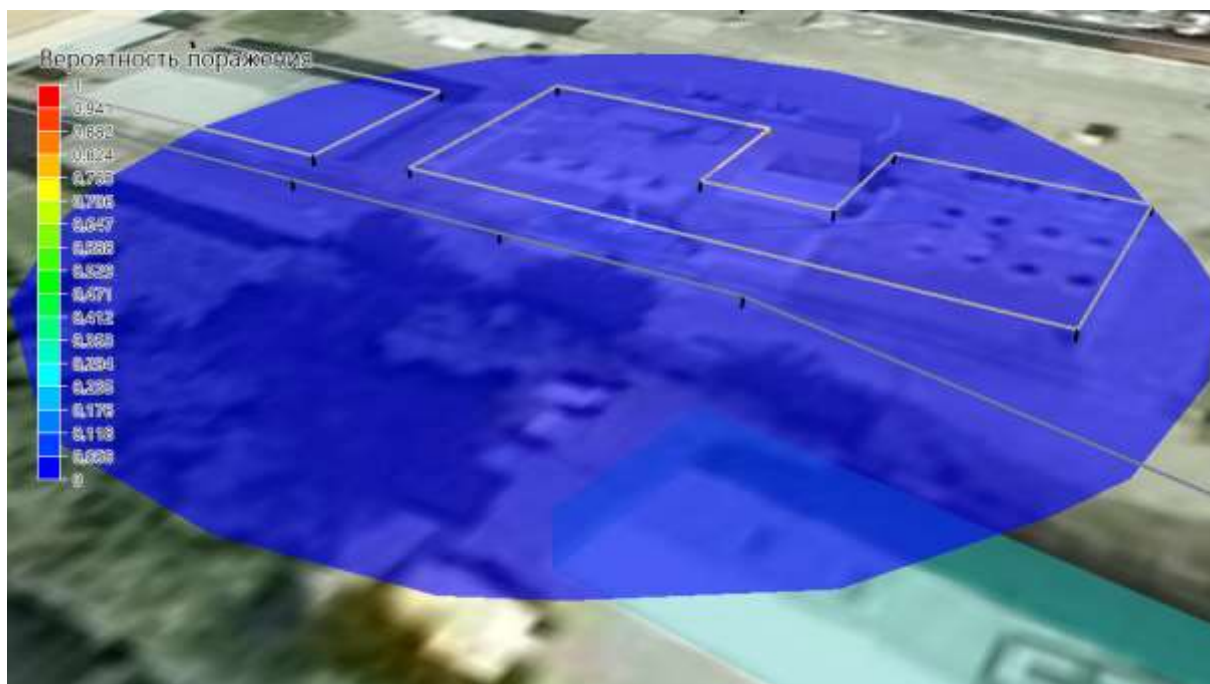
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 18862656087405700000 = -6,54$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



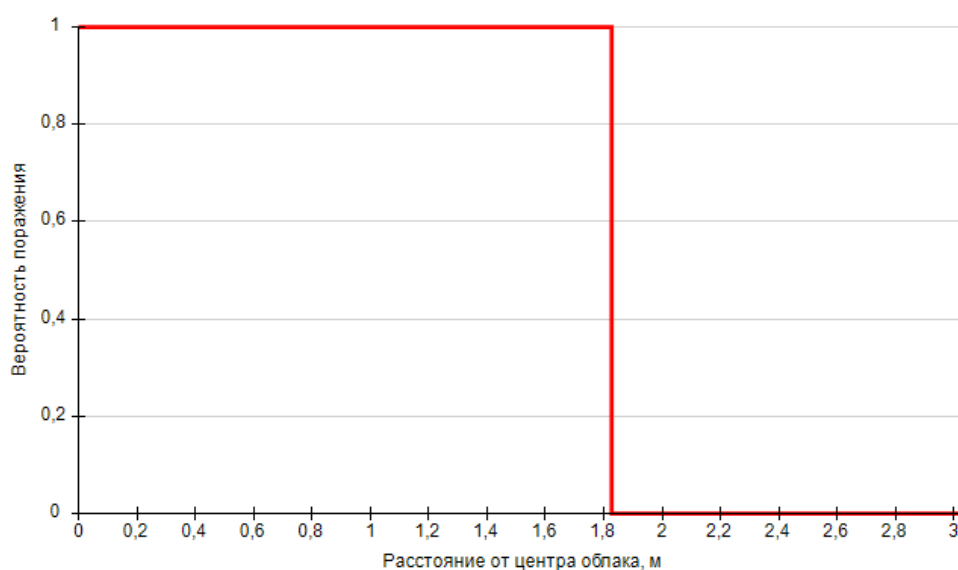
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

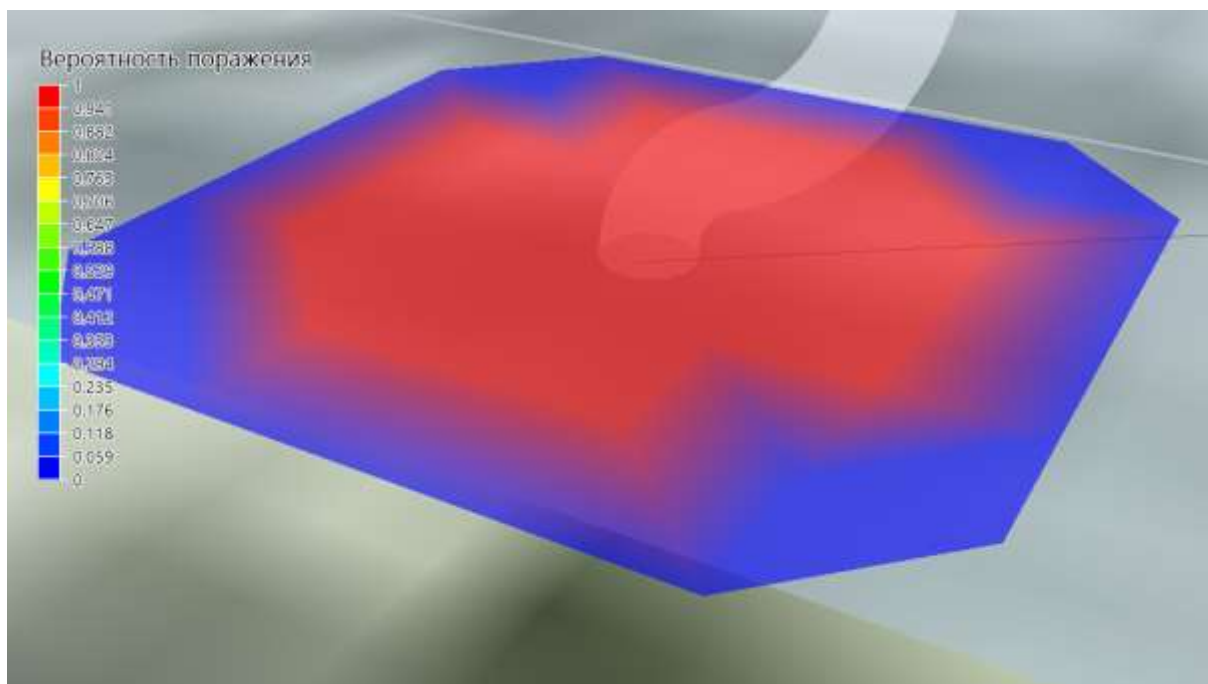
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 1,5 \text{ м} = 1,8 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.2.2. Разгерметизация 15 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 10$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $27,84 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 49,7 - 10 = 39,6 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{39,6}{5} = 12,9 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(12,9 \cdot 27,84^{4/3}) = 5,105. \end{aligned}$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,541954.

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 17,9 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,468 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 5,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

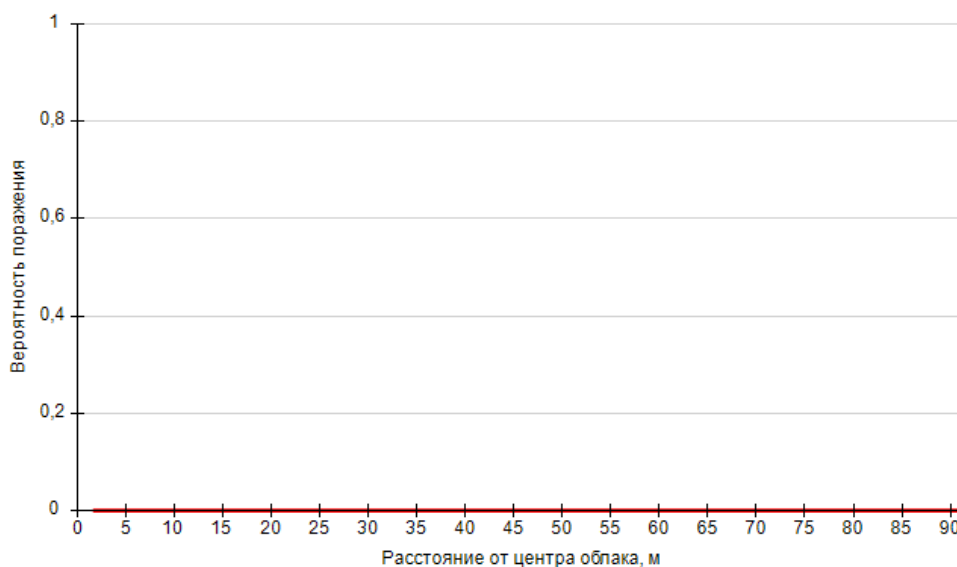
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,468 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{5,4} \right)^{9,3} = 11460423702023500.$$

Значение пробит-функции составляет:

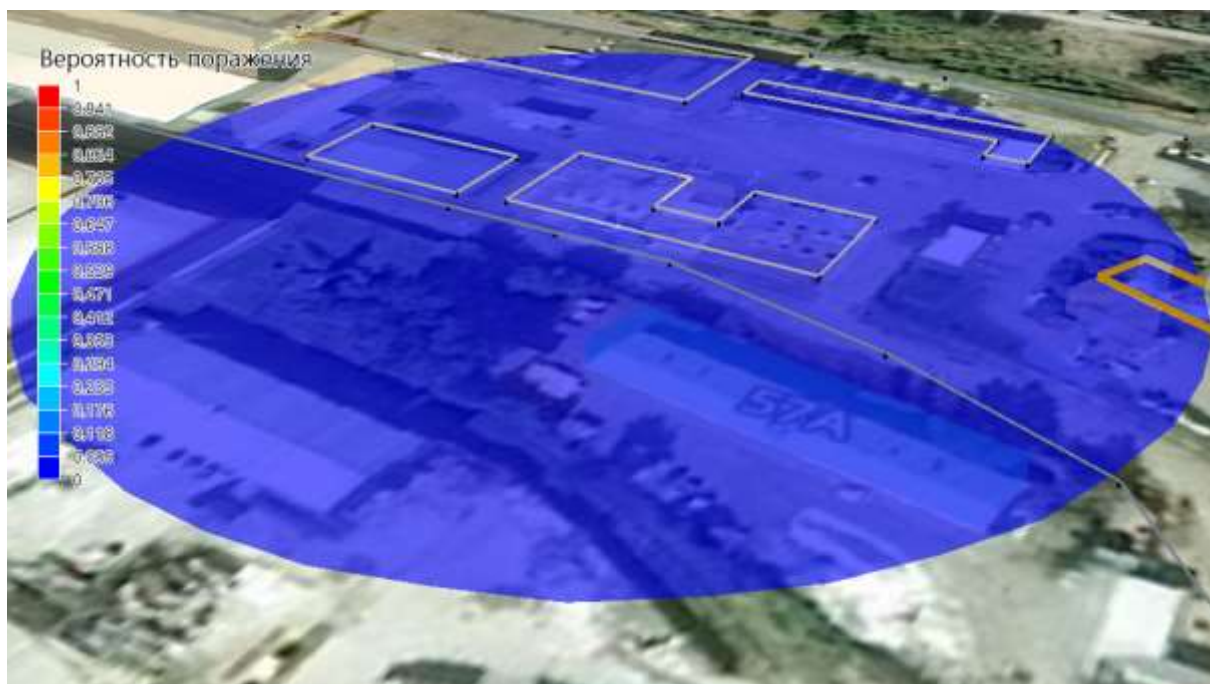
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 11460423702023500 = -4,614$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



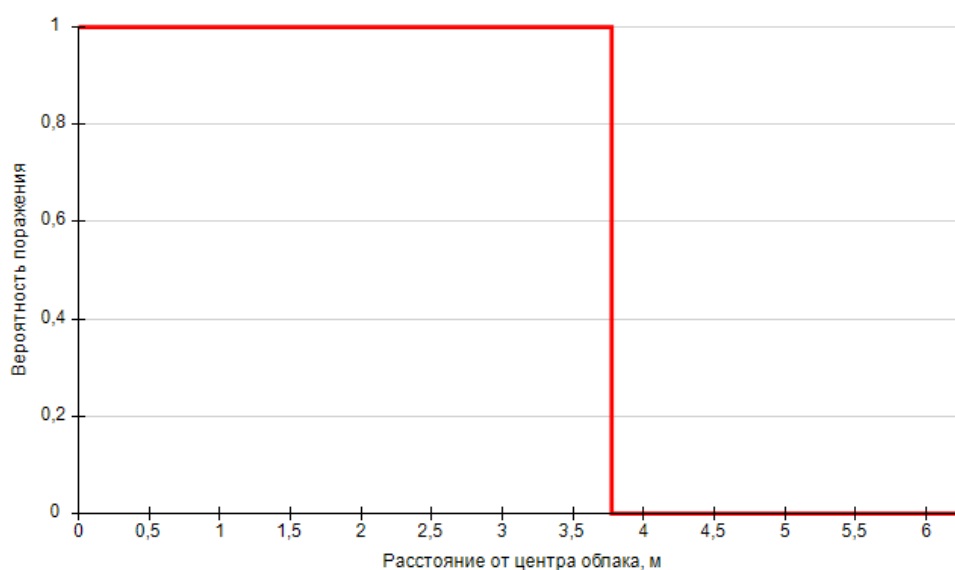
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

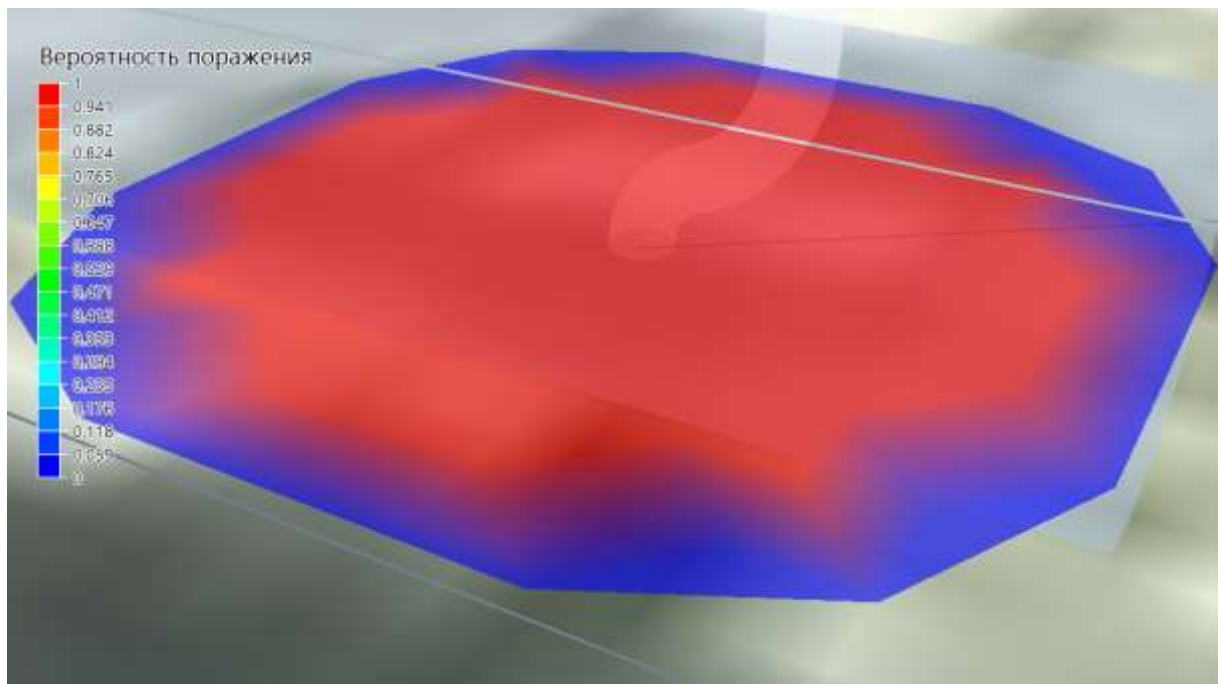
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 3,1 \text{ м} = 3,8 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.2.3. Разрушение

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 13,1$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $16,32 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 66,1 - 13,1 = 53 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

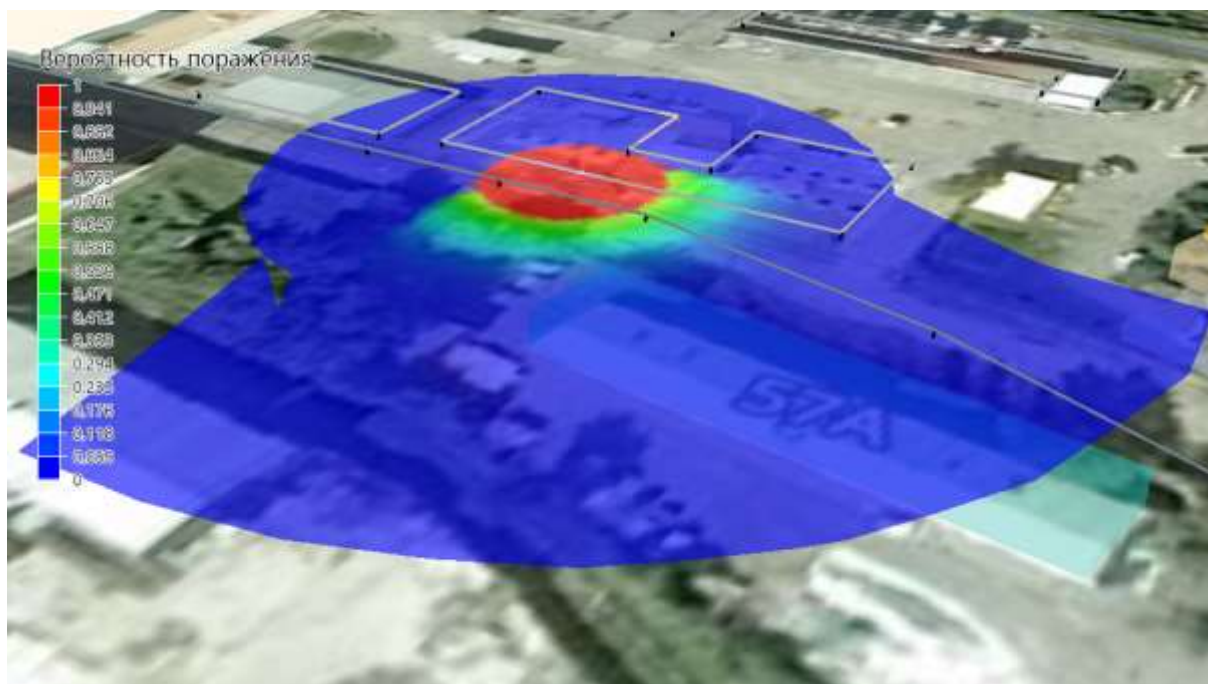
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{53}{5} = 15,6 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,6 \cdot 16,32^{4/3}) = 3,764. \end{aligned}$$

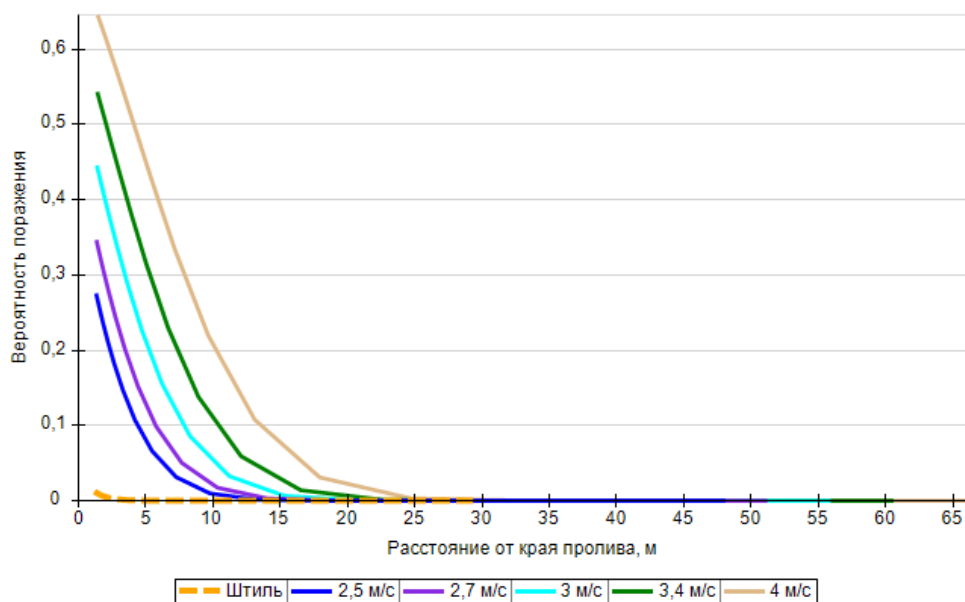
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,107814.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 70,1 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,578 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 23,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

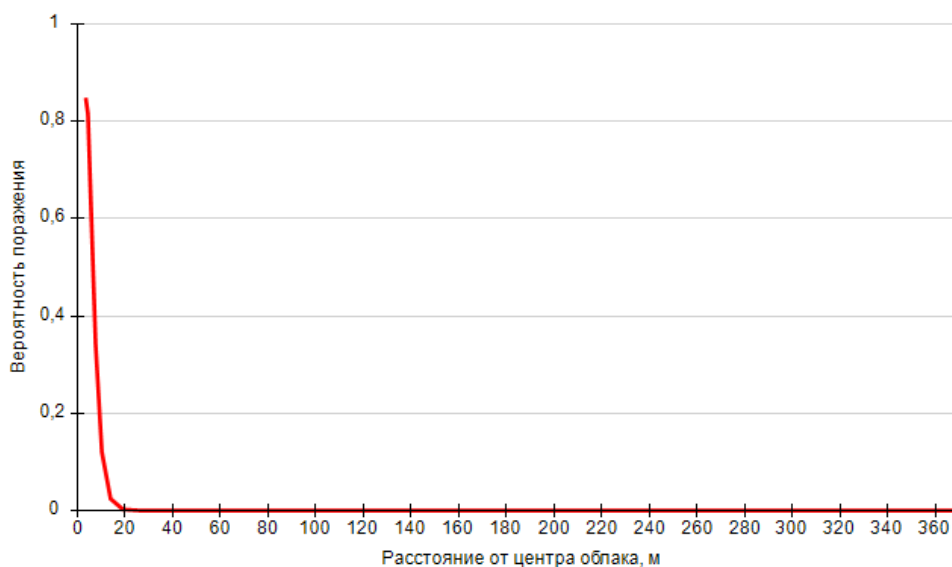
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,578 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{23,4}\right)^{9,3} = 14586878299,114.$$

Значение пробит-функции составляет:

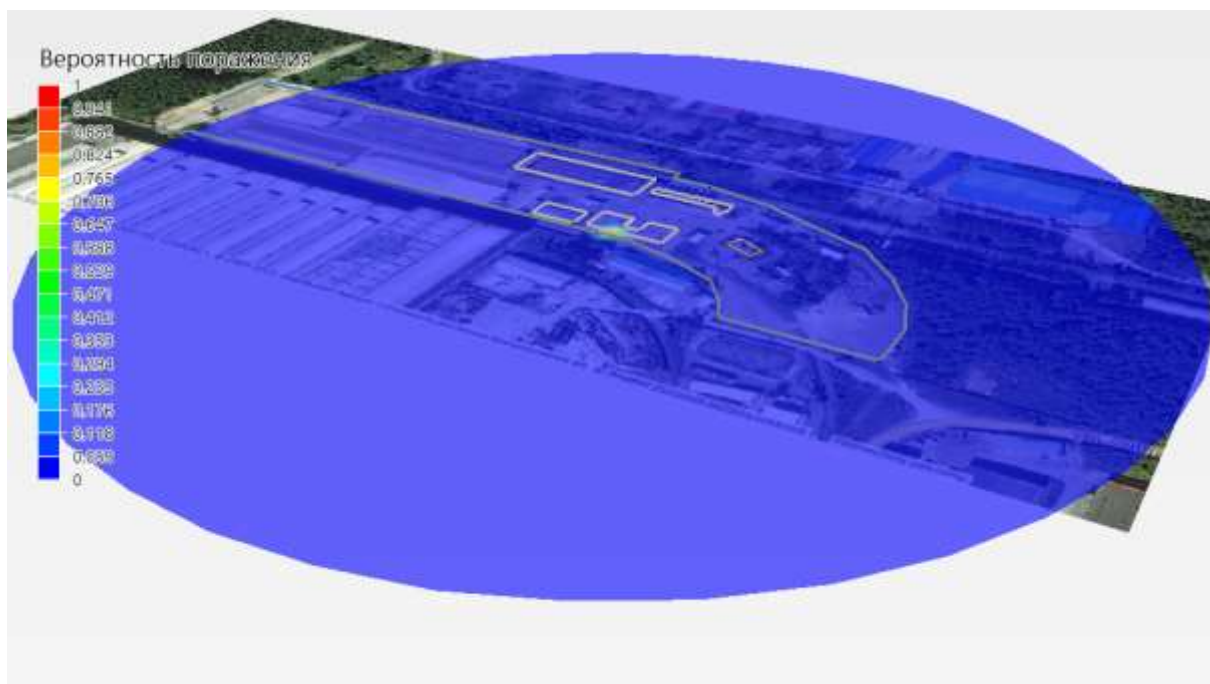
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 14586878299,114 = -1,085$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



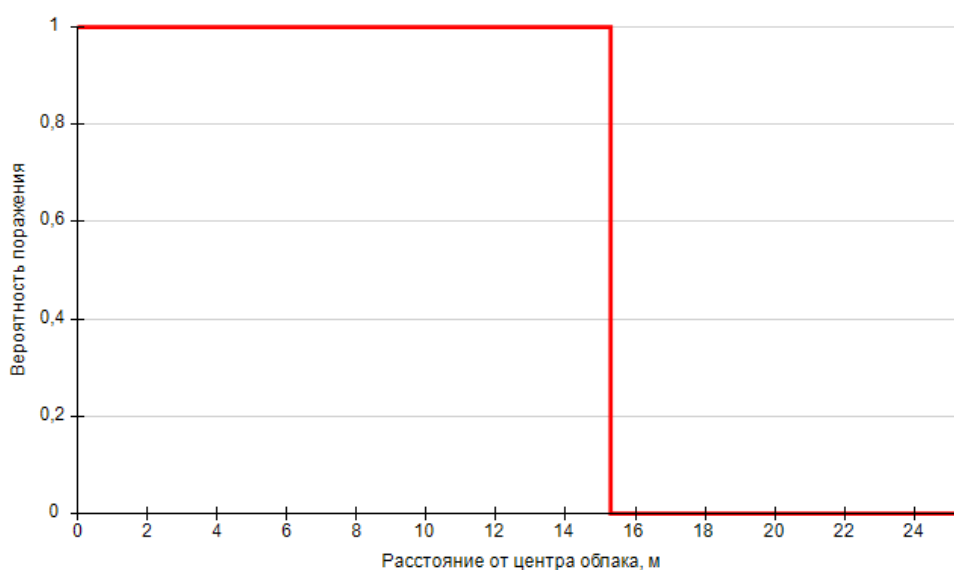
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

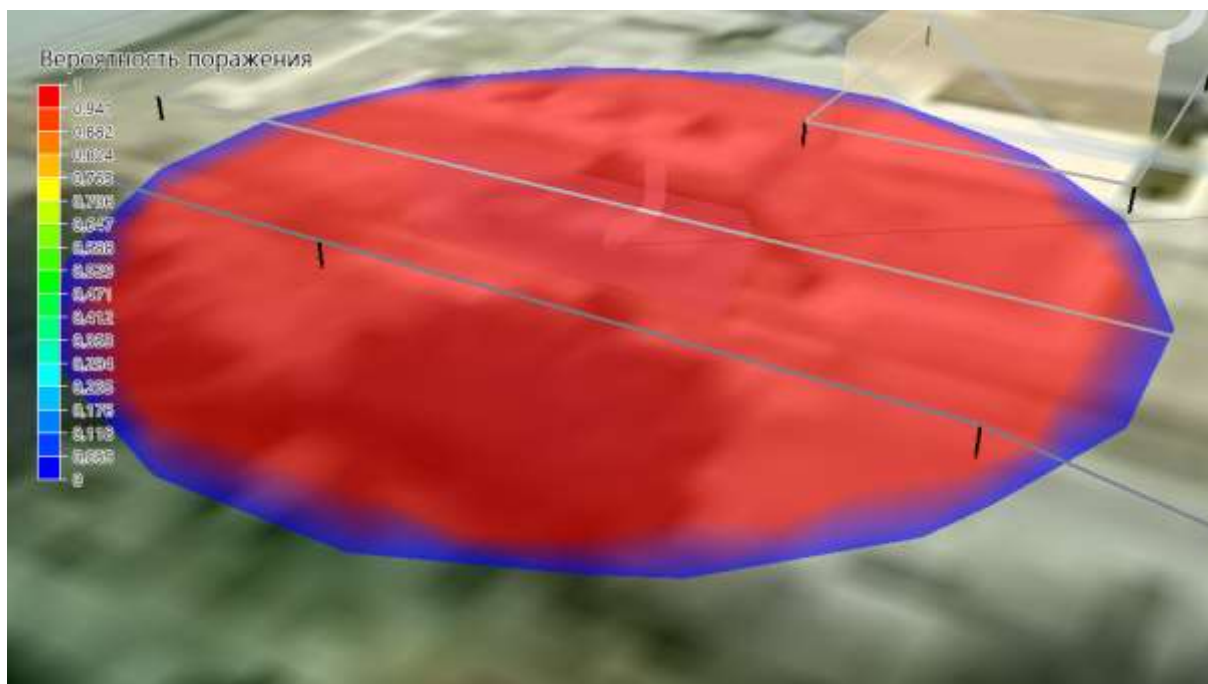
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 12,7 \text{ м} = 15,3 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.3. Розлив растворителей 02 - секция_1

6.3.1. Разрыв линии топливоподачи

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 9,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $27,78 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 48,1 - 9,8 = 38,3 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

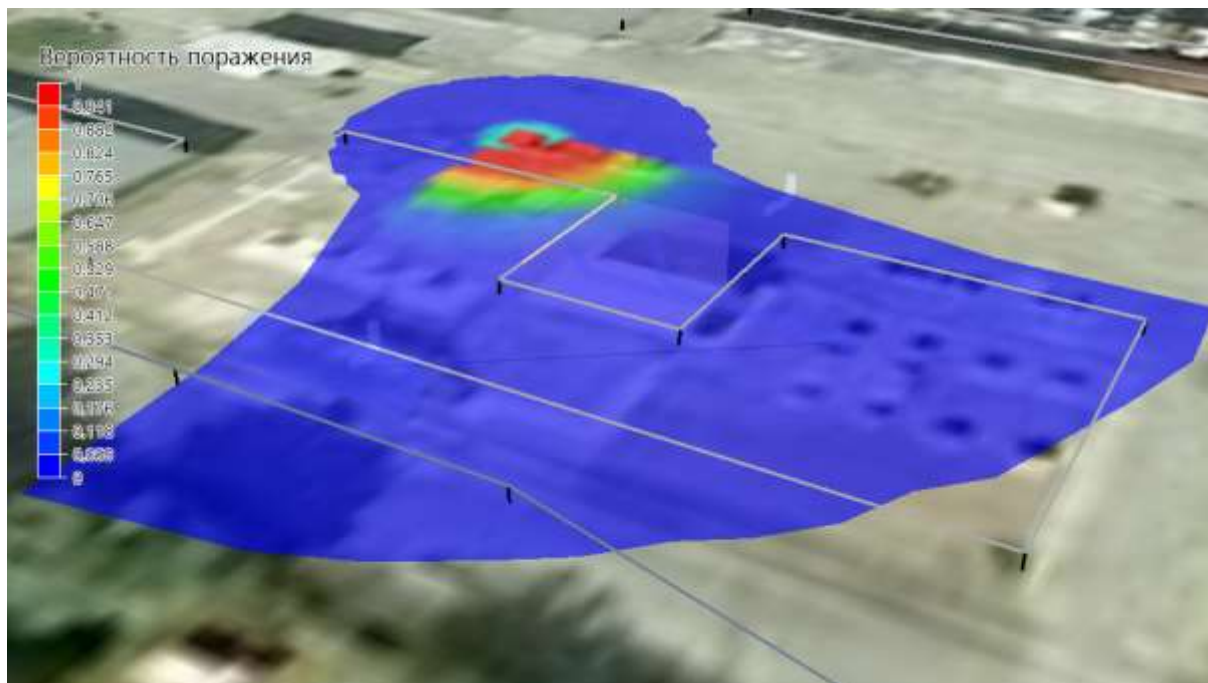
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{38,3}{5} = 12,7 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(12,7 \cdot 27,78^{4/3}) = 5,047. \end{aligned}$$

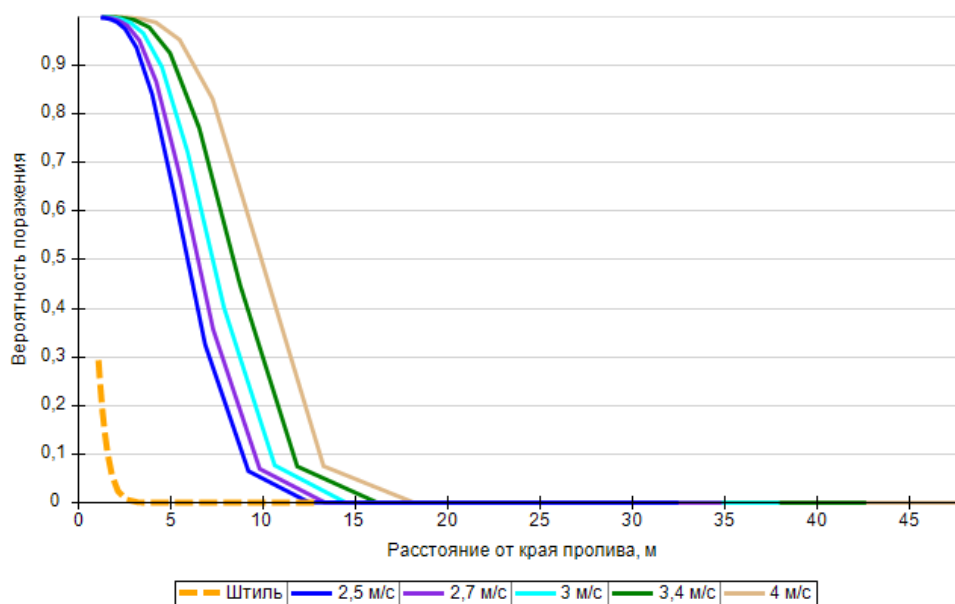
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,518781.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 17,3 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,443 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 5,2$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

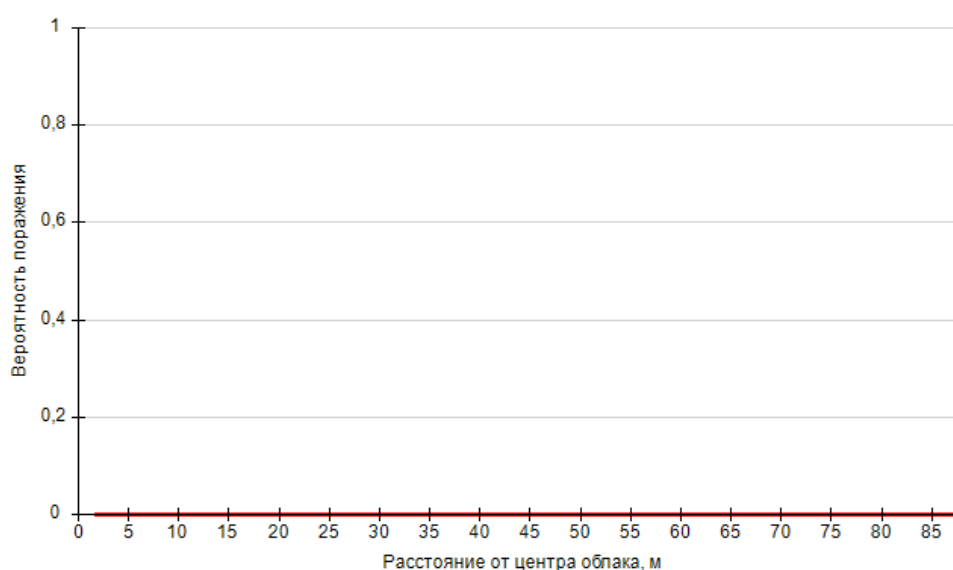
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,443 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{5,2}\right)^{9,3} = 18906376252594800.$$

Значение пробит-функции составляет:

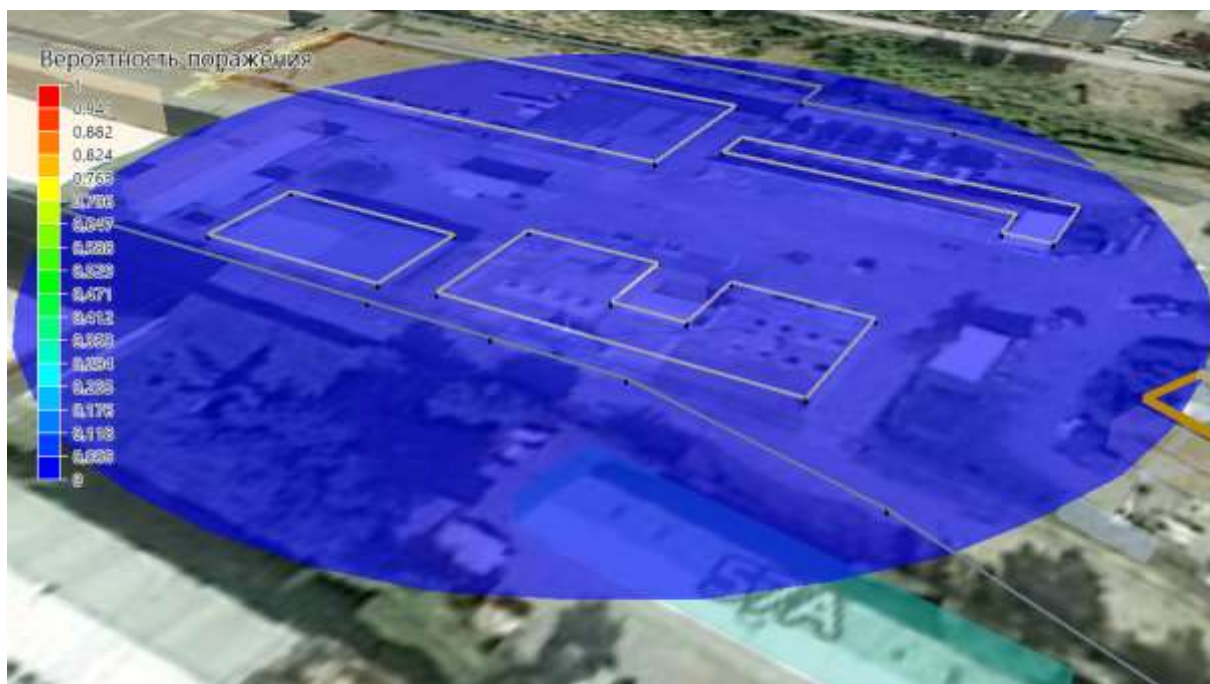
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 18906376252594800 = -4,744$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



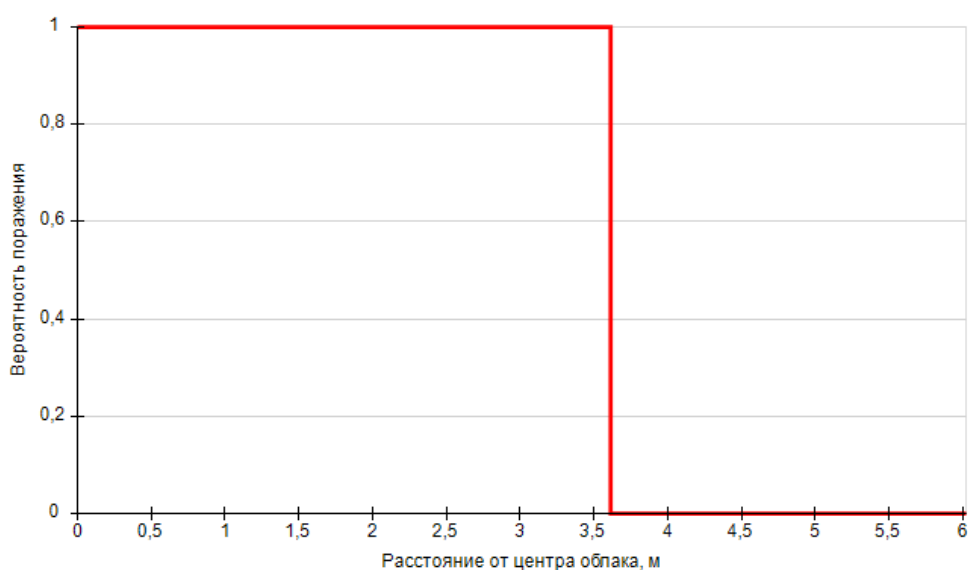
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

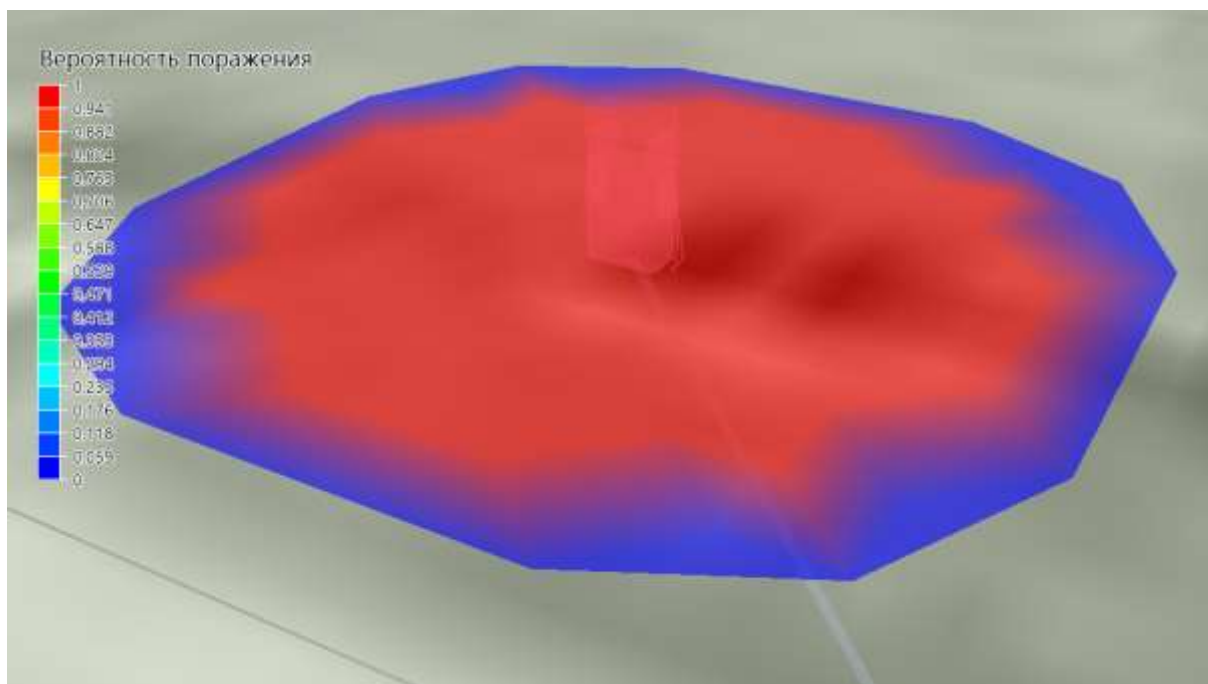
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 3 \text{ м} = 3,6 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.4. Розлив растворителей 01 - секция_1

6.4.1. Разрыв линии топливоподачи

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 9,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $27,78 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 48,1 - 9,8 = 38,3 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

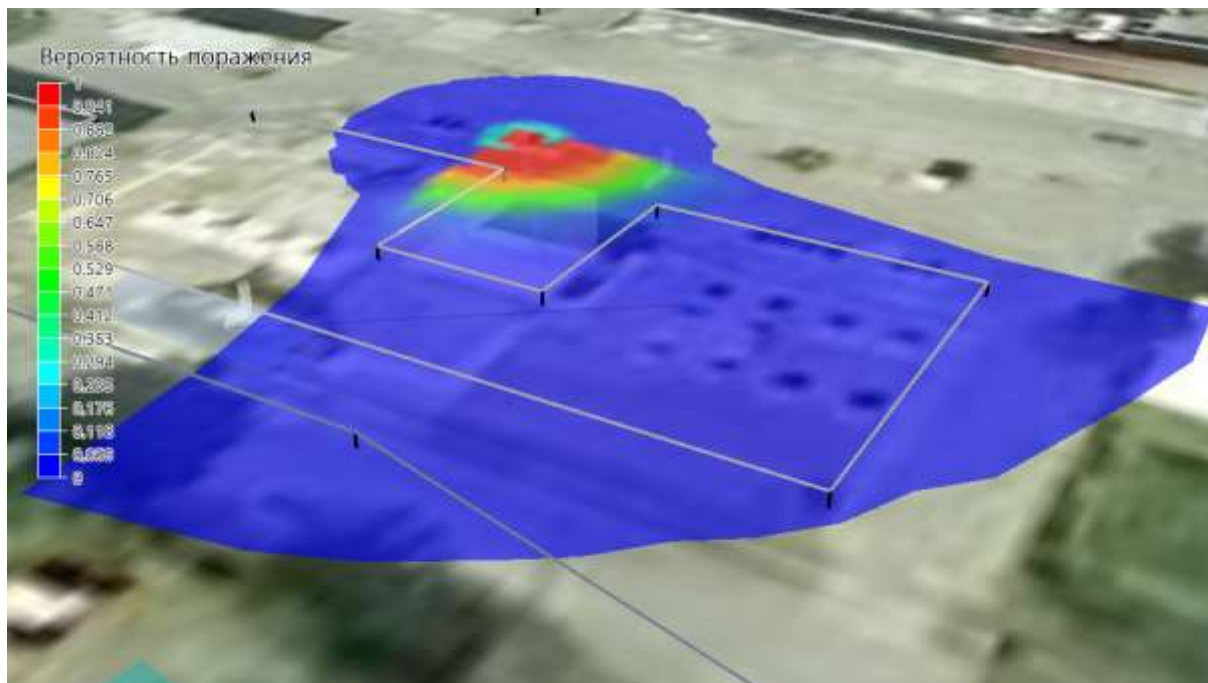
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{38,3}{5} = 12,7 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(12,7 \cdot 27,78^{4/3}) = 5,047. \end{aligned}$$

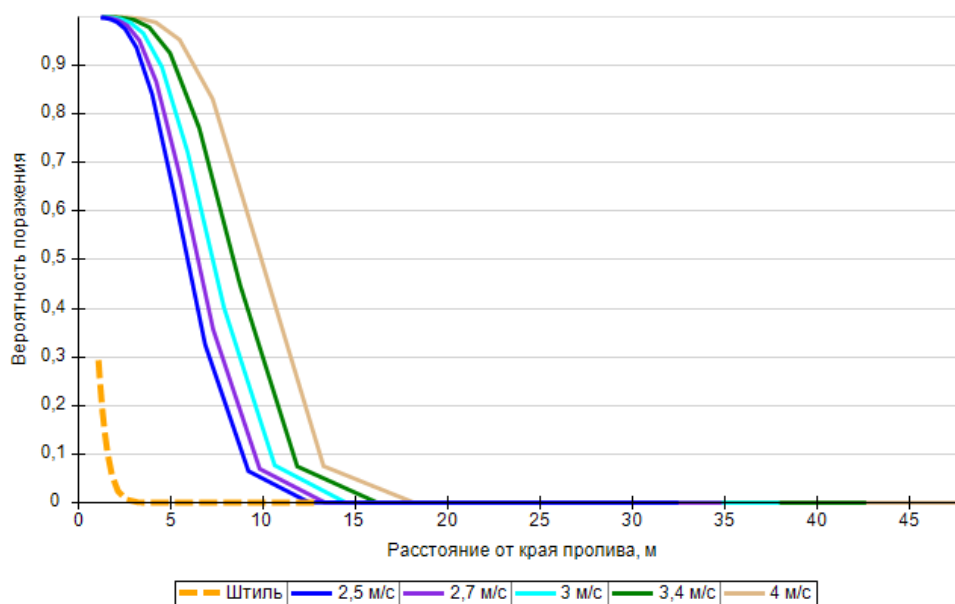
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,518781.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 17,3 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,443 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 5,2$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

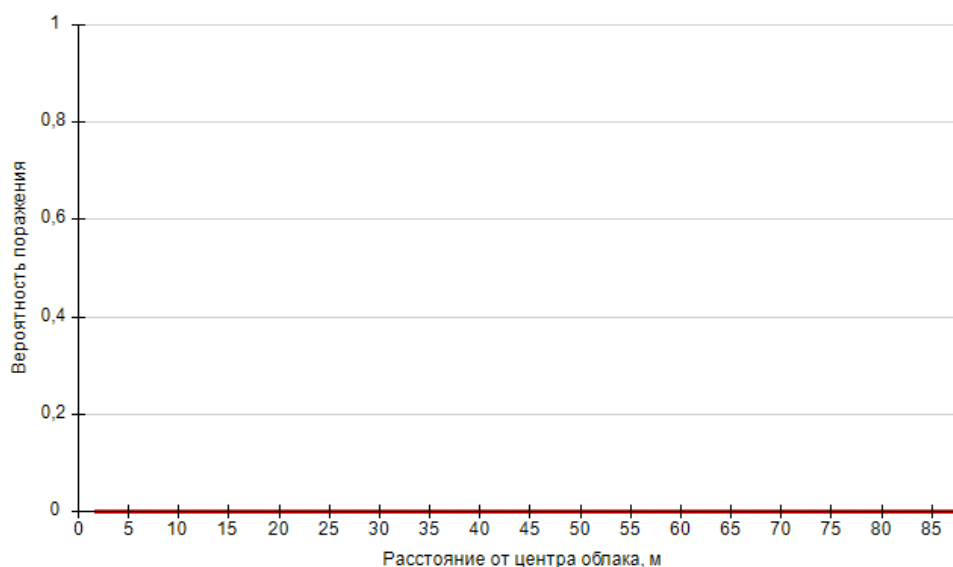
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,443 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{5,2}\right)^{9,3} = 18906376252594800.$$

Значение пробит-функции составляет:

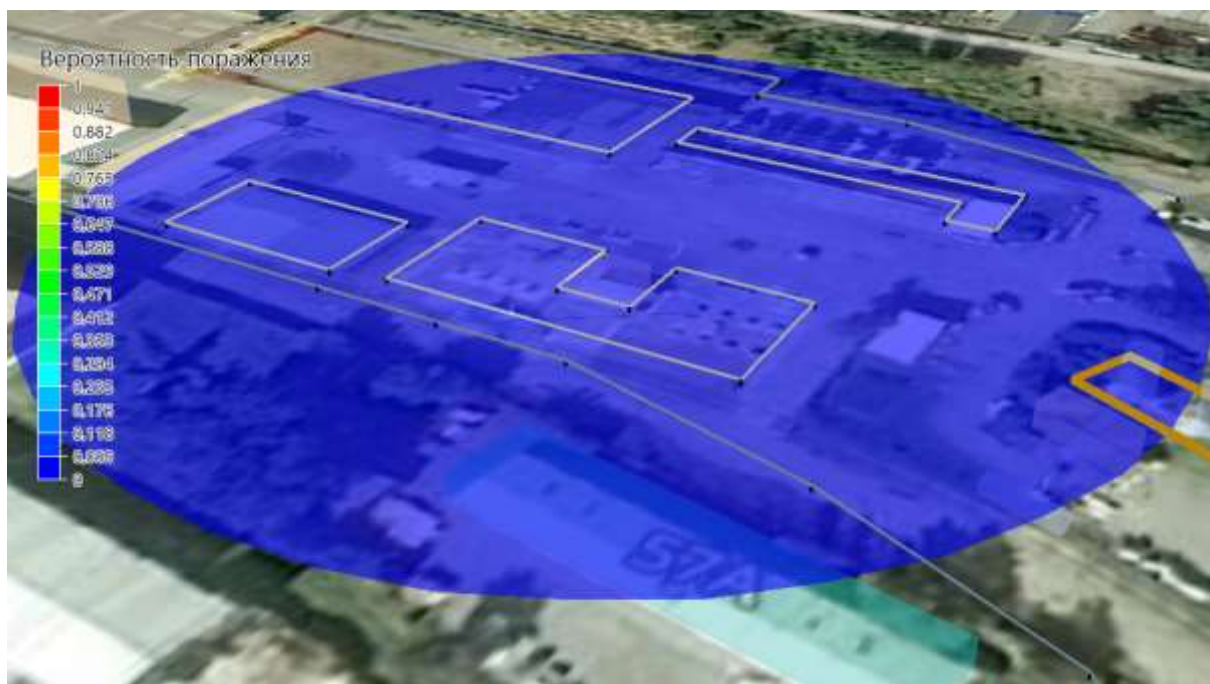
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 18906376252594800 = -4,744$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



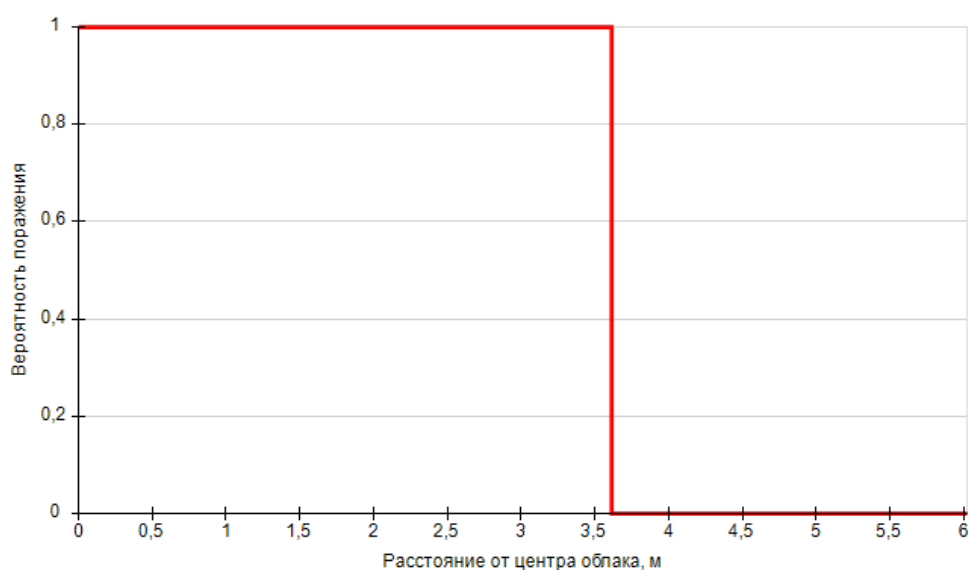
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

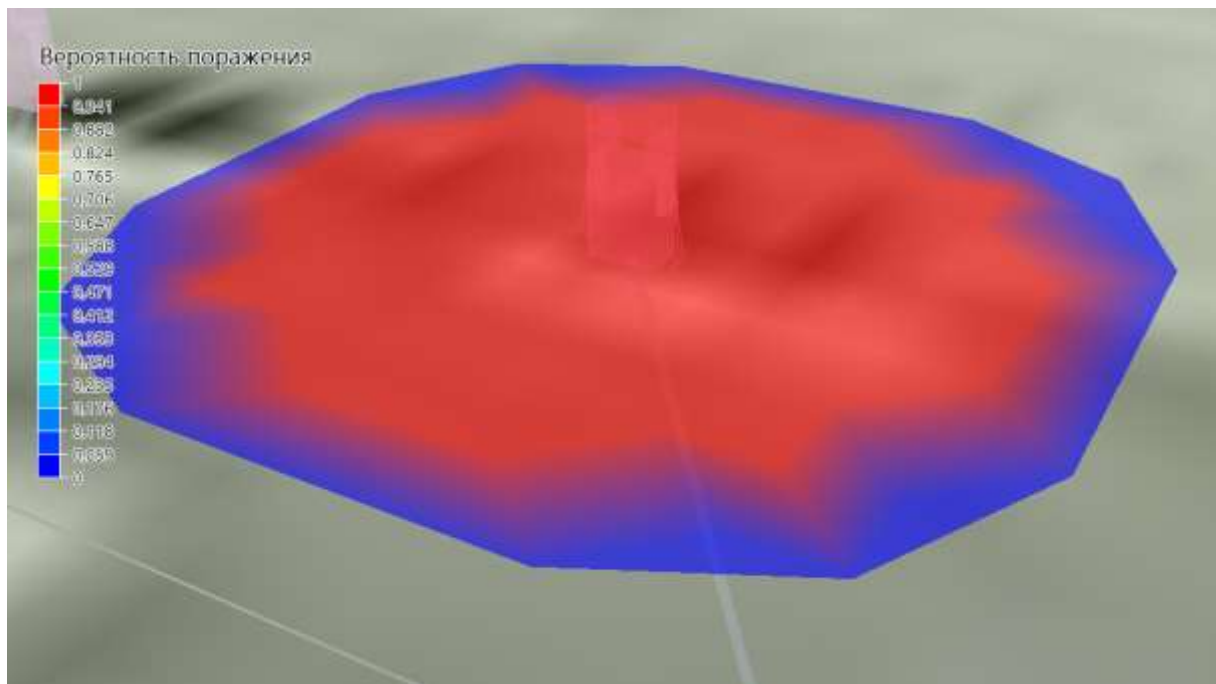
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 3 \text{ м} = 3,6 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.5. Ж/д цистерна (сольвент)

6.5.1. Разгерметизация 25 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $20,64 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 64,5 - 12,8 = 51,7 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

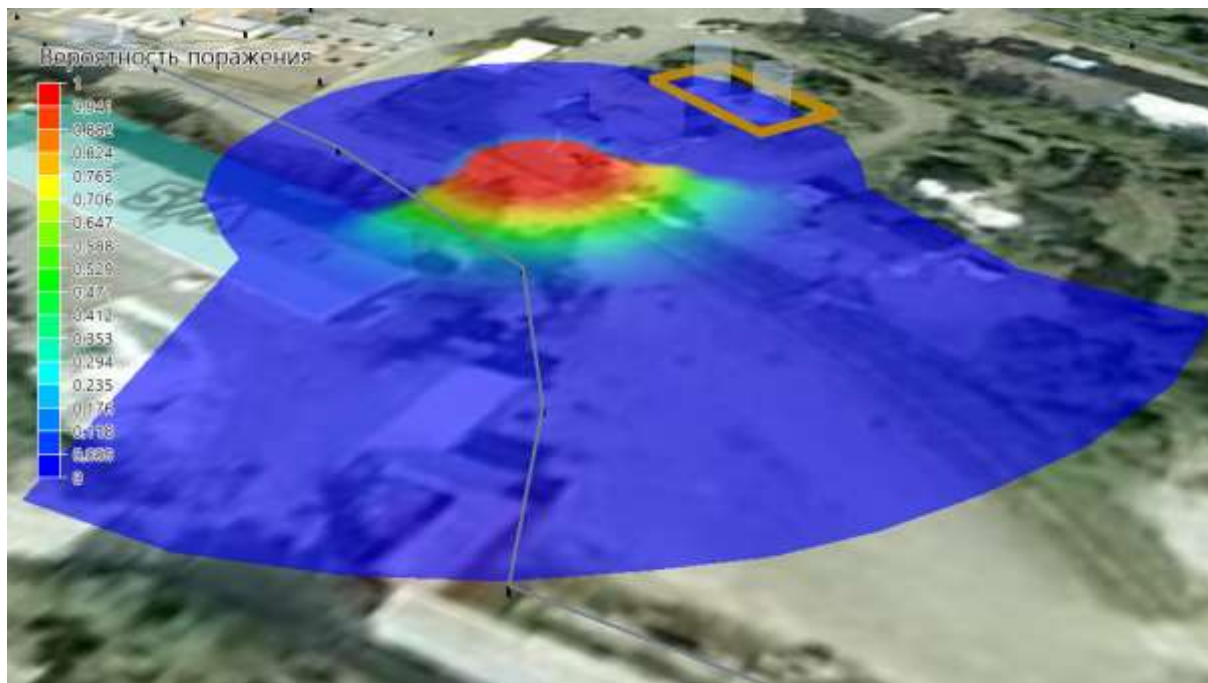
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{51,7}{5} = 15,3 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,3 \cdot 20,64^{4/3}) = 4,523. \end{aligned}$$

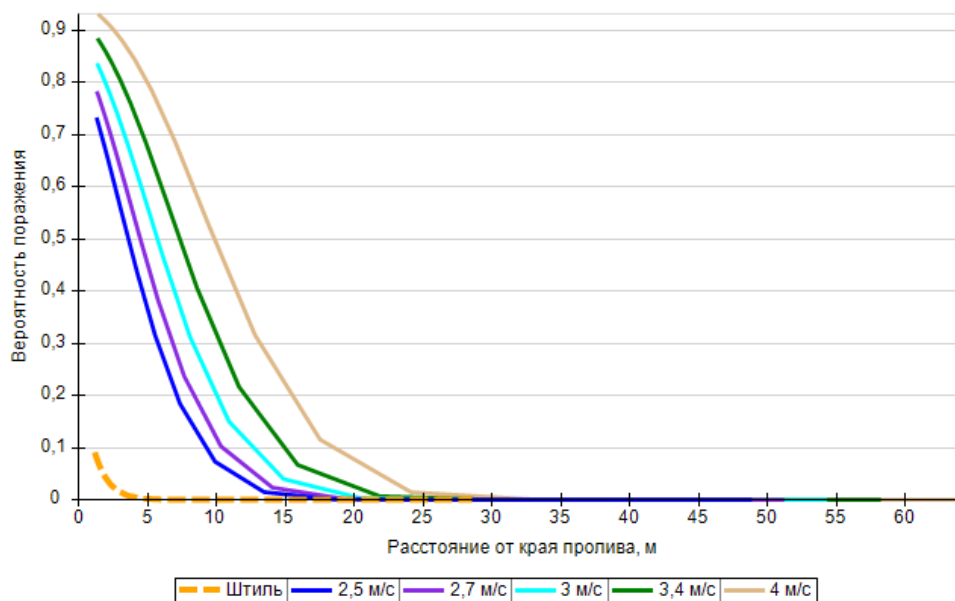
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,316147.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 54,5 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,57 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 18,1$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

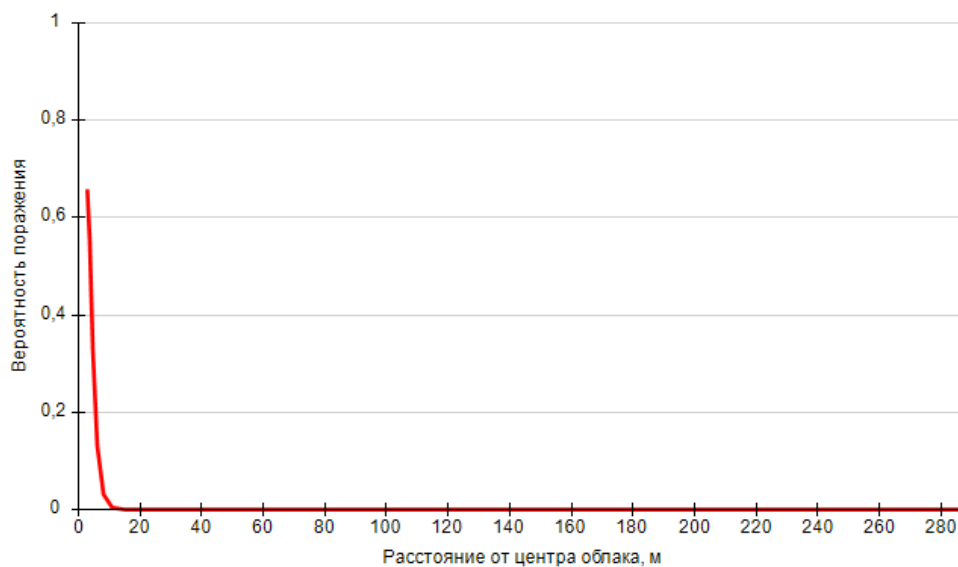
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,57 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{18,1}\right)^{9,3} = 162540766610,321.$$

Значение пробит-функции составляет:

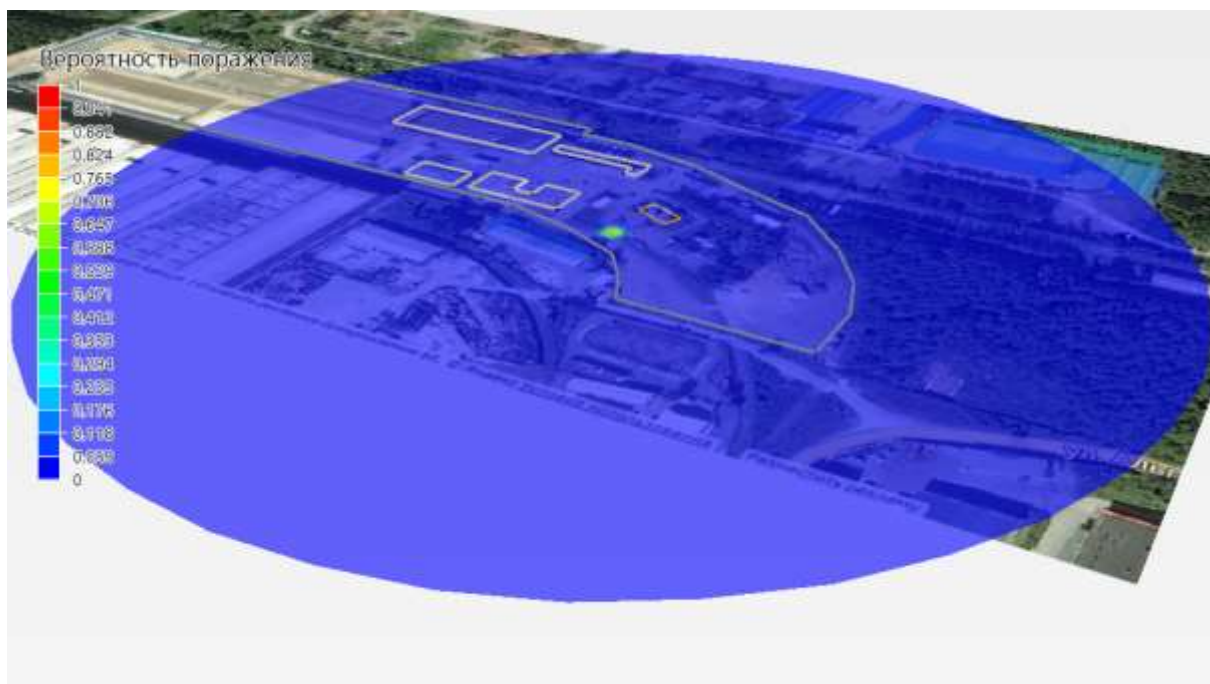
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 162540766610,321 = -1,712$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



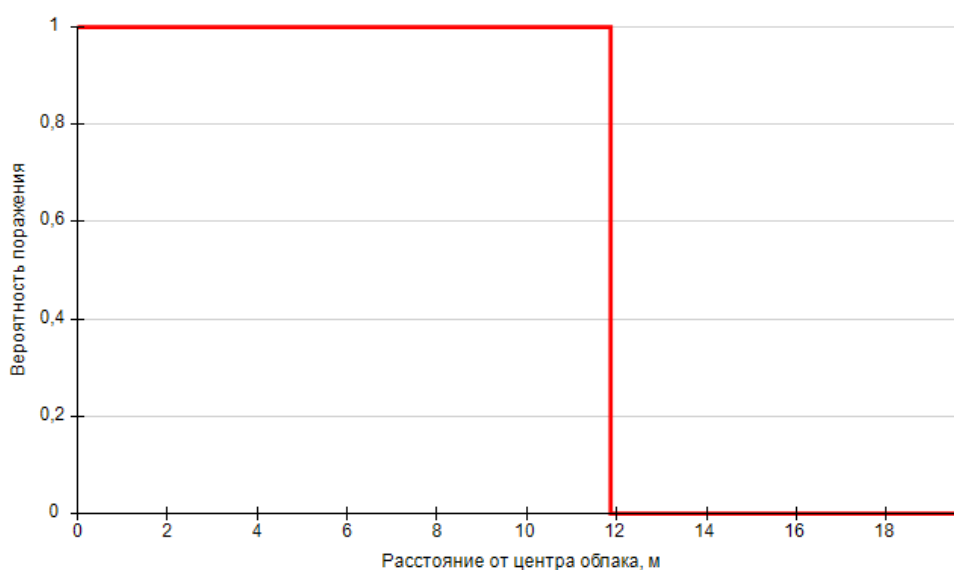
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

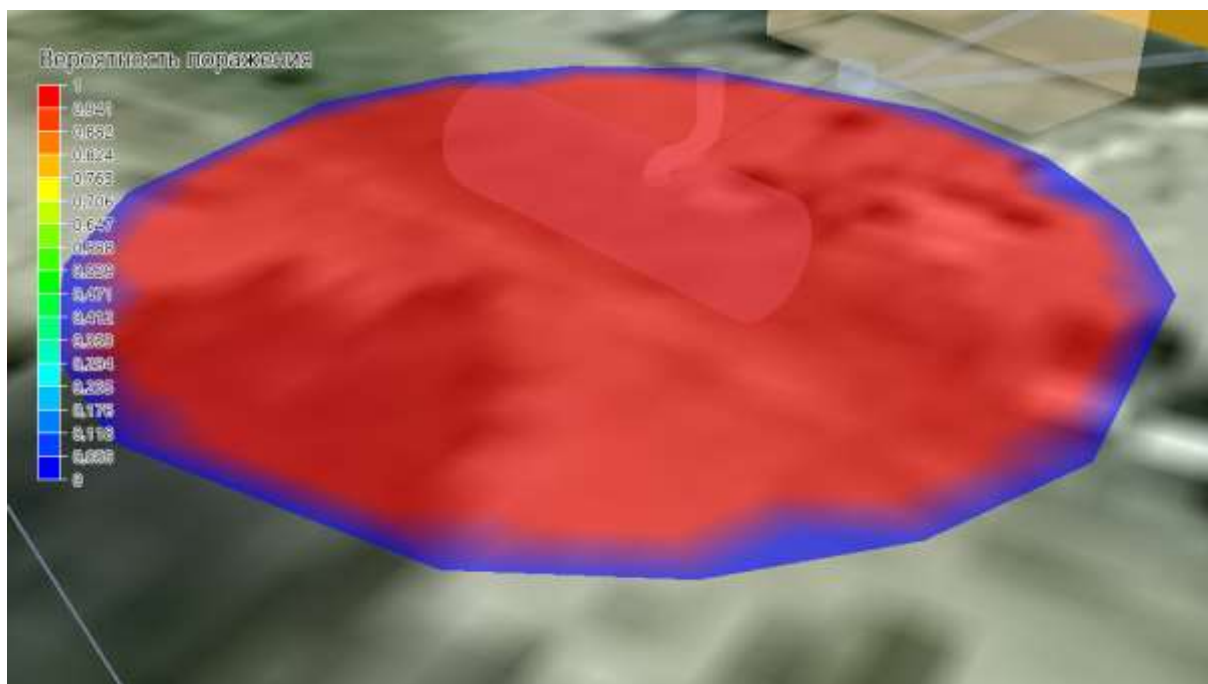
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 9,9 \text{ м} = 11,9 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.5.2. Разгерметизация 100 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 15,7$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $12,72 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 80,1 - 15,7 = 64,4 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

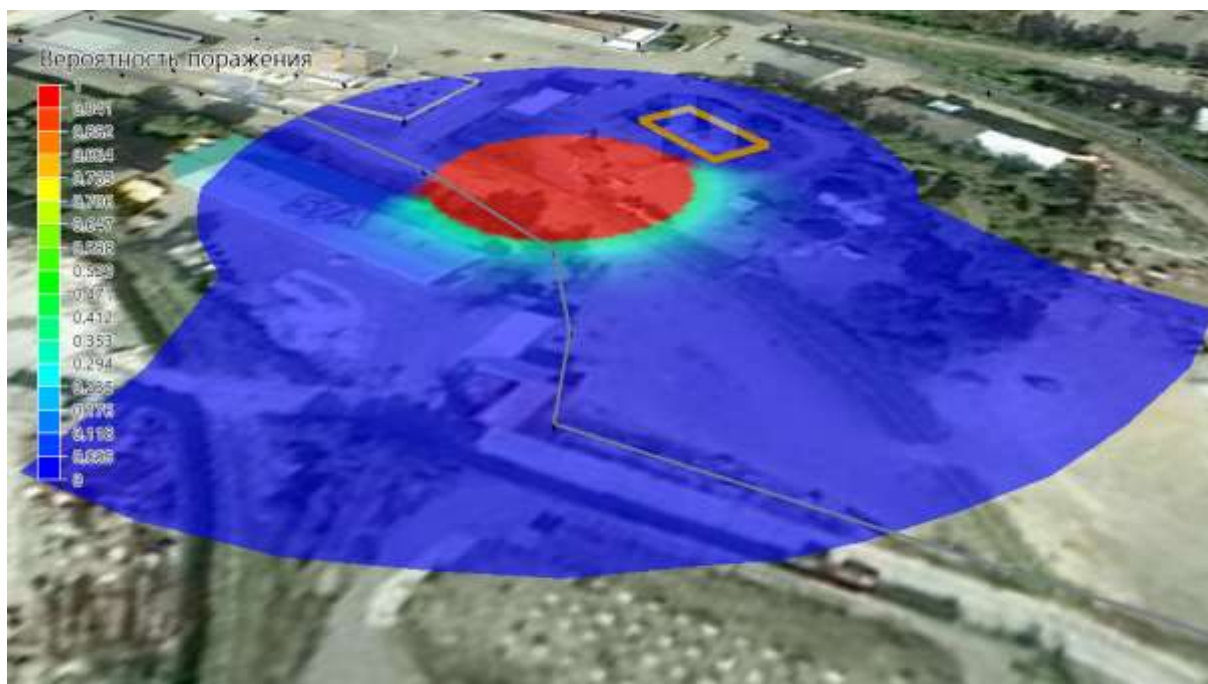
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{64,4}{5} = 17,9 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(17,9 \cdot 12,72^{4/3}) = 3,263. \end{aligned}$$

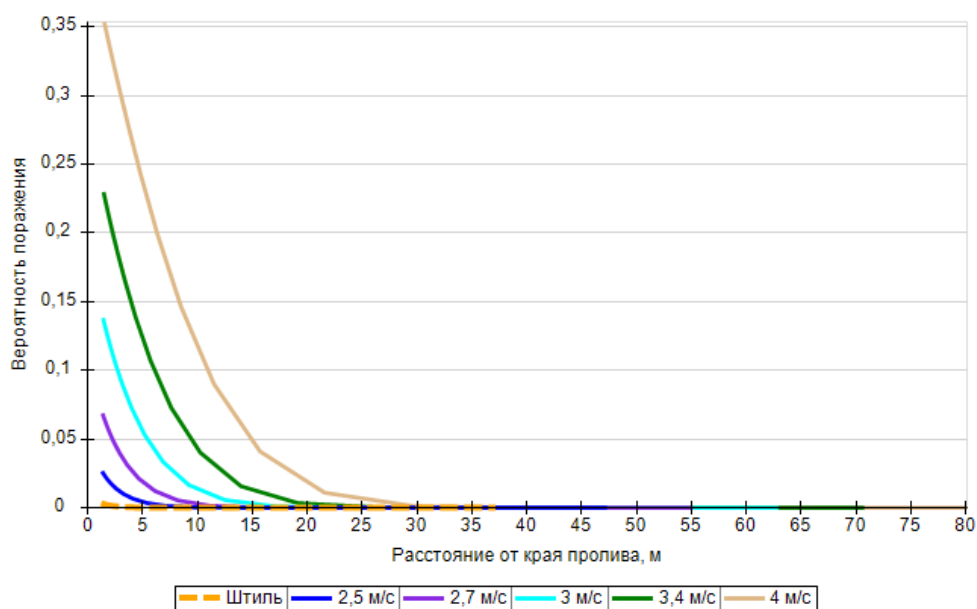
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,040988.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 106,8 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,581 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 35,7$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

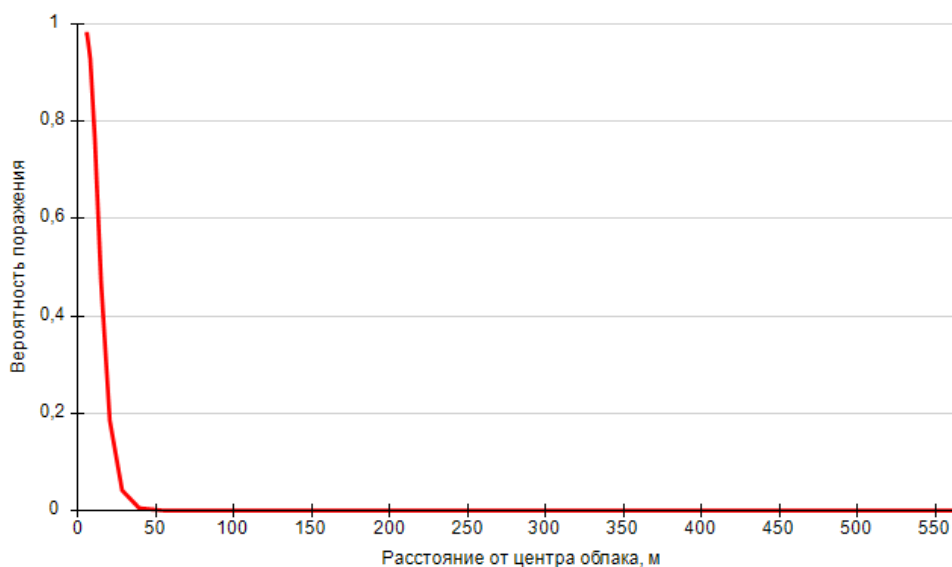
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,581 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{35,7} \right)^{9,3} = 285589811,692.$$

Значение пробит-функции составляет:

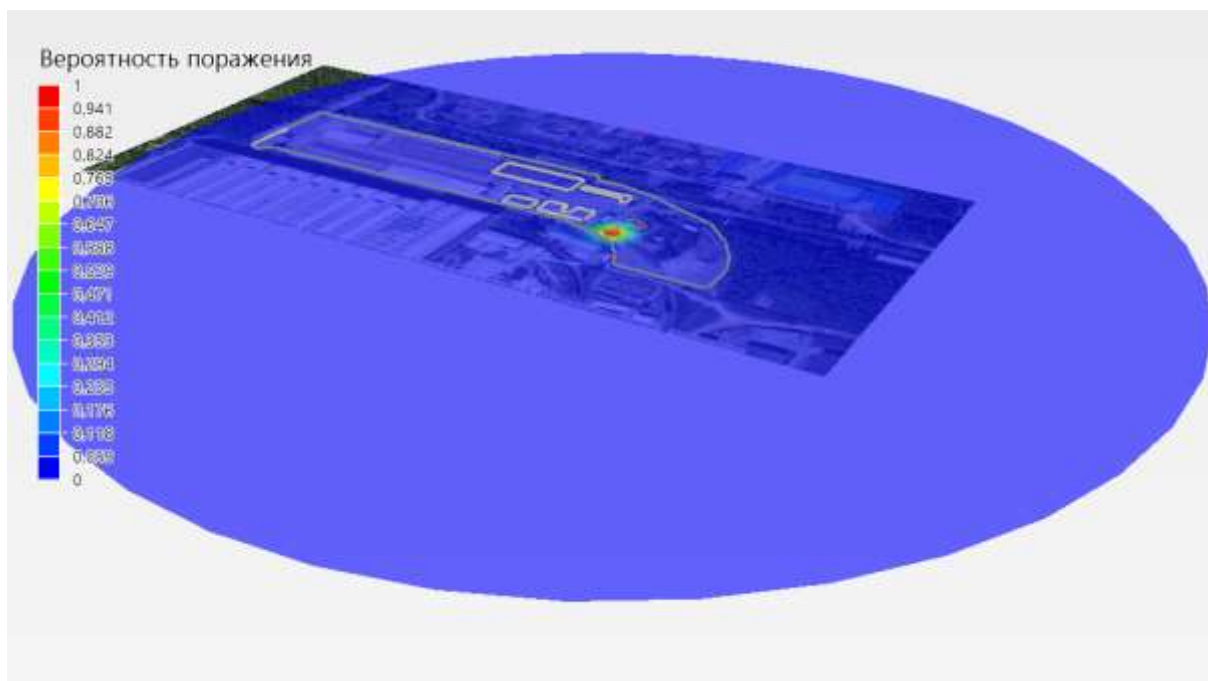
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 285589811,692 = -0,062$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



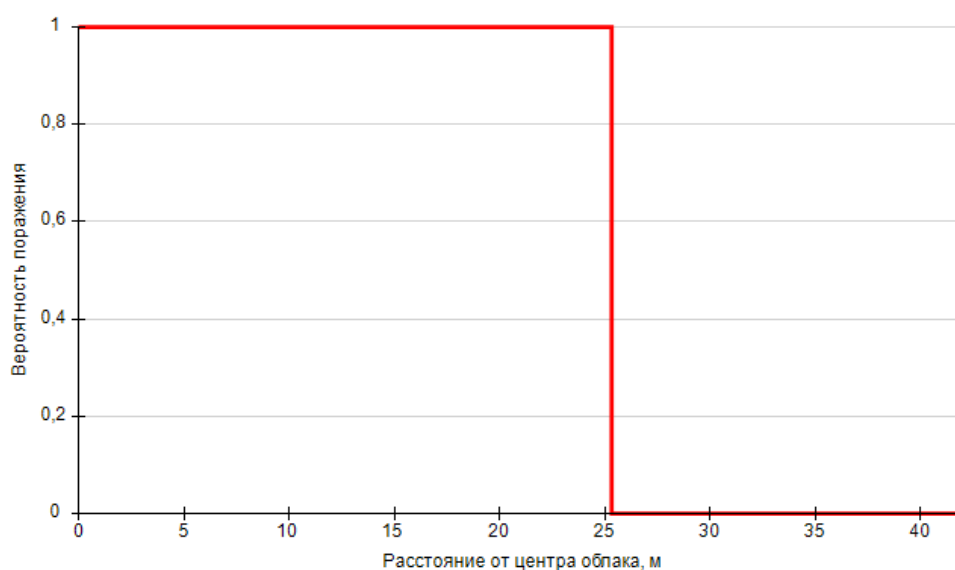
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

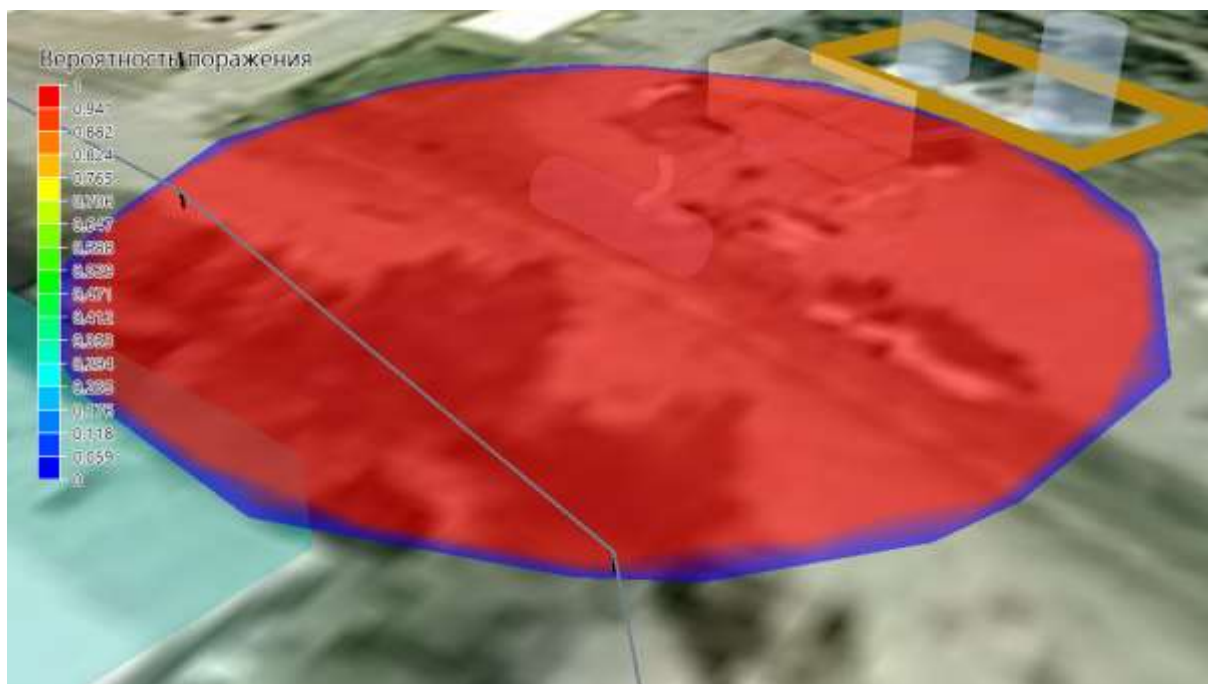
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 21,1 \text{ м} = 25,3 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.5.3. Разрушение

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 15,7$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $12,72 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 80,1 - 15,7 = 64,4 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

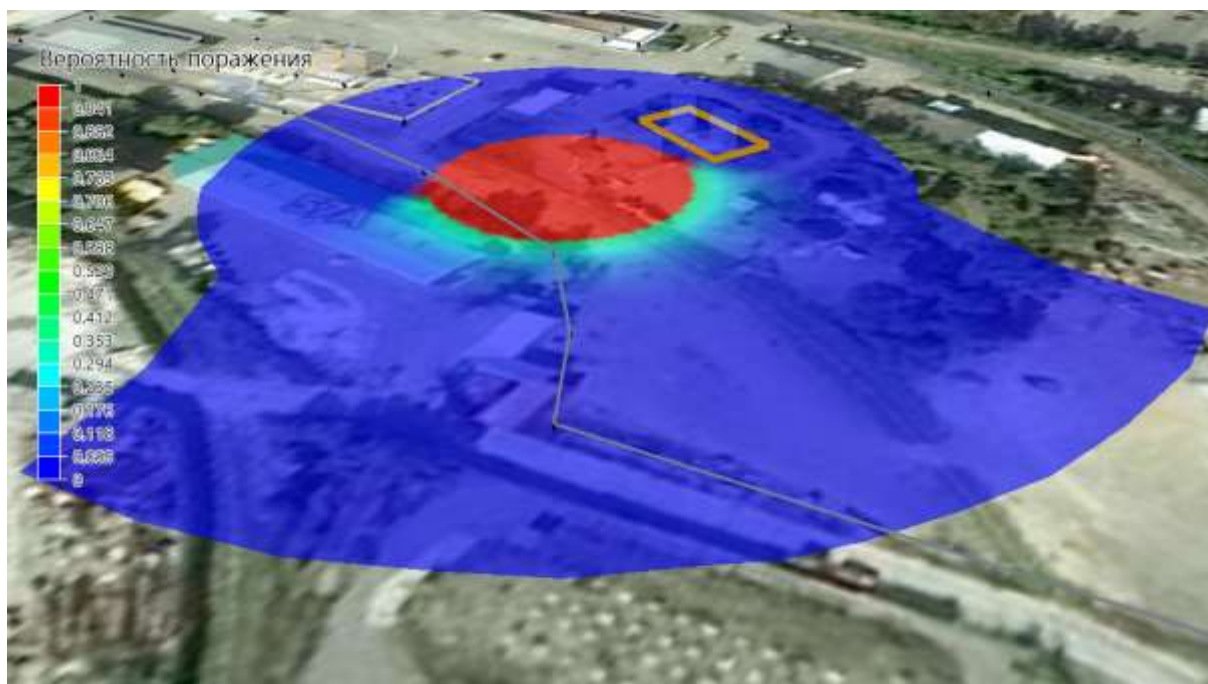
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{64,4}{5} = 17,9 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(17,9 \cdot 12,72^{4/3}) = 3,263. \end{aligned}$$

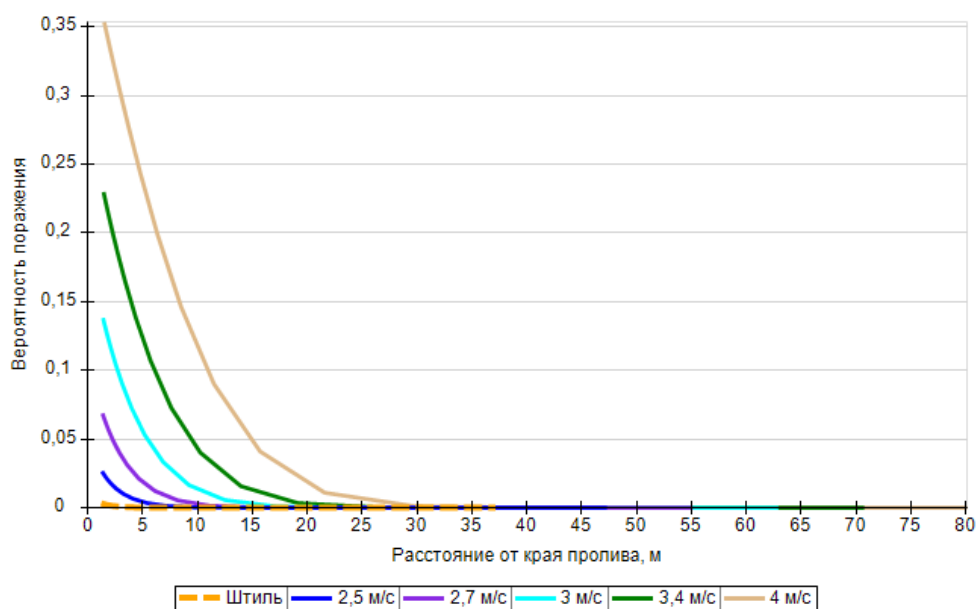
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,040988.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 106,8 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,581 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 35,7$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

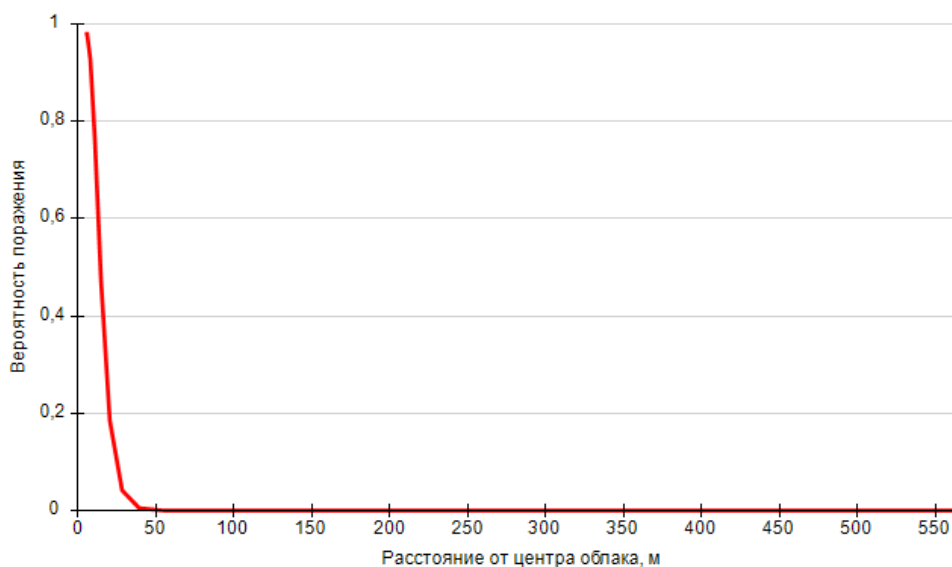
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,581 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{35,7} \right)^{9,3} = 285589811,692.$$

Значение пробит-функции составляет:

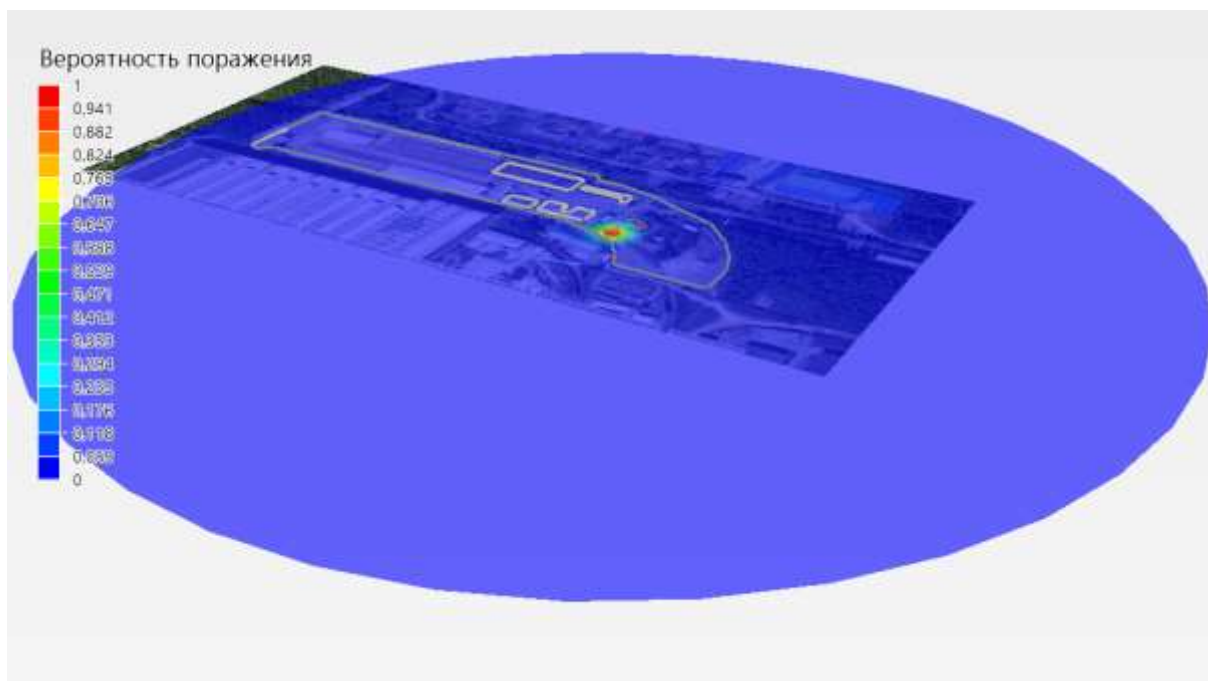
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 285589811,692 = -0,062$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



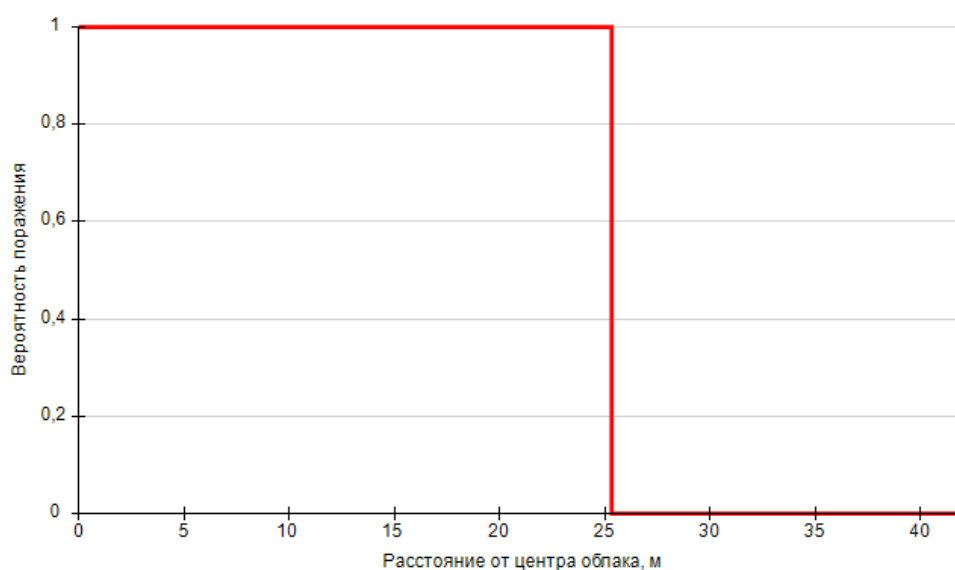
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

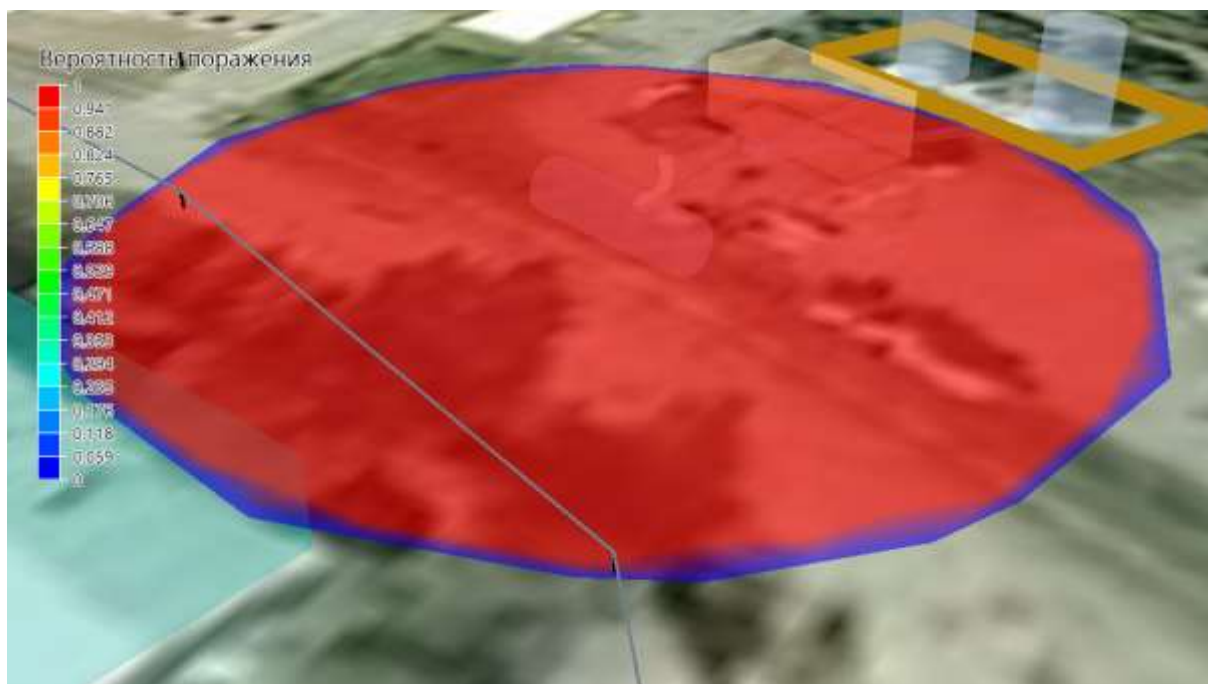
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 21,1 \text{ м} = 25,3 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.5.4. Пожар по всей поверхности

Пожар по всей поверхности

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,5$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $28,01 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 62,9 - 12,5 = 50,4 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

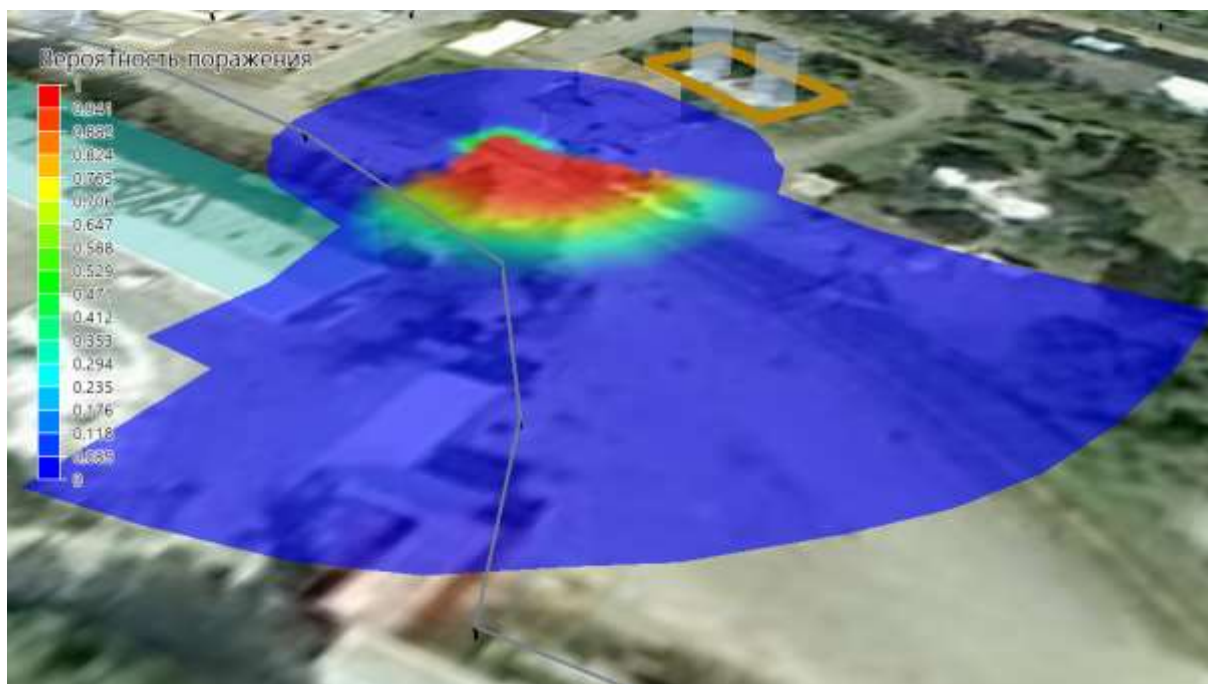
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{50,4}{5} = 15,1 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,1 \cdot 28,01^{4/3}) = 5,523. \end{aligned}$$

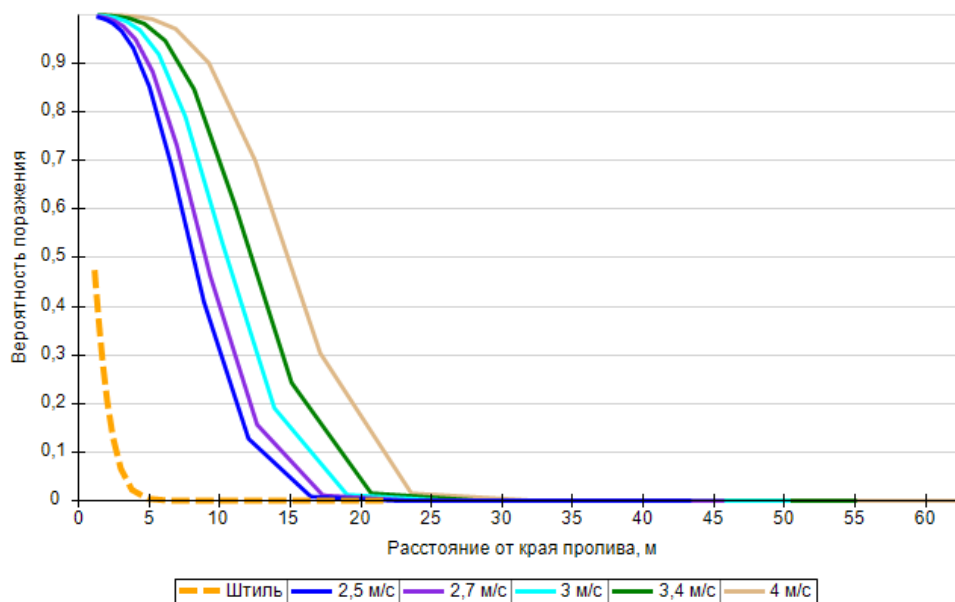
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,699955.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

6.6. Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)

6.6.1. Разгерметизация 5 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 5,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $24,78 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 27 - 5,8 = 21,2 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

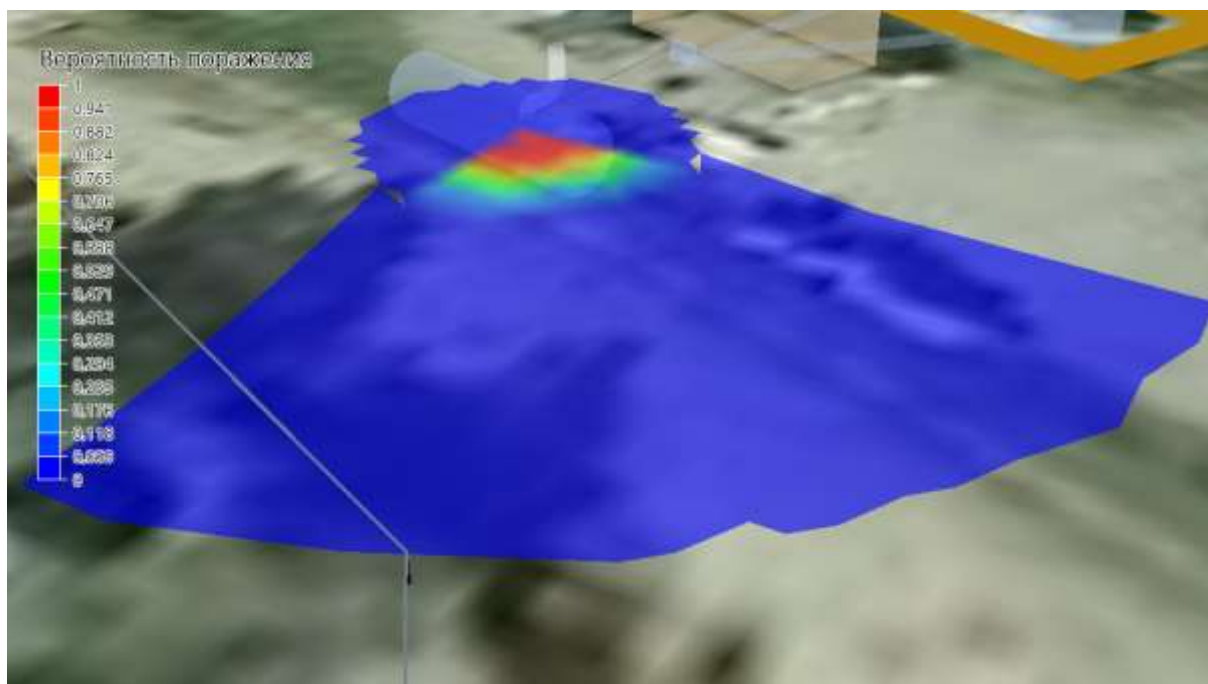
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{21,2}{5} = 9,2 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(9,2 \cdot 24,78^{4/3}) = 3,847. \end{aligned}$$

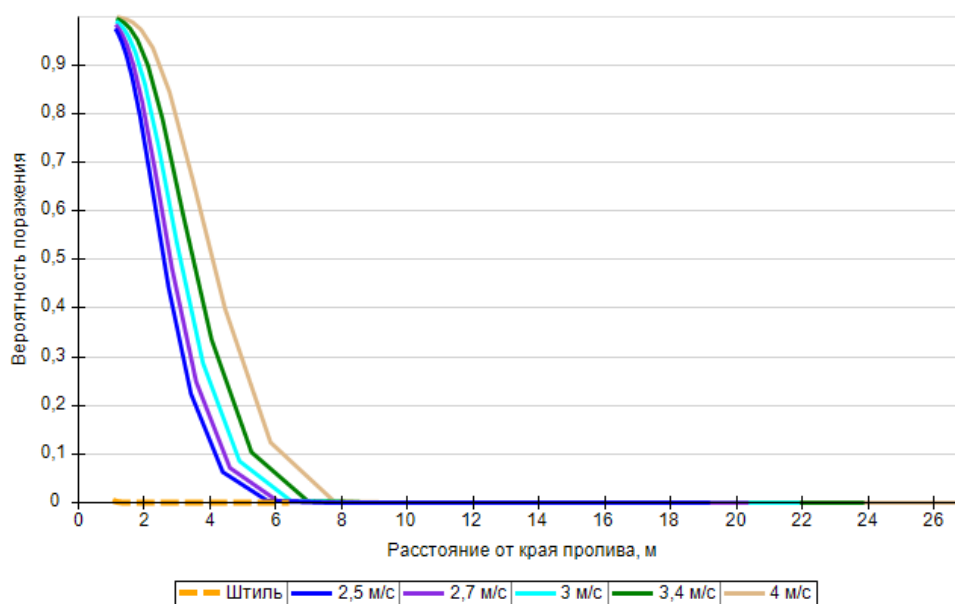
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,124139.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 9,1 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,322 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 2,5$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

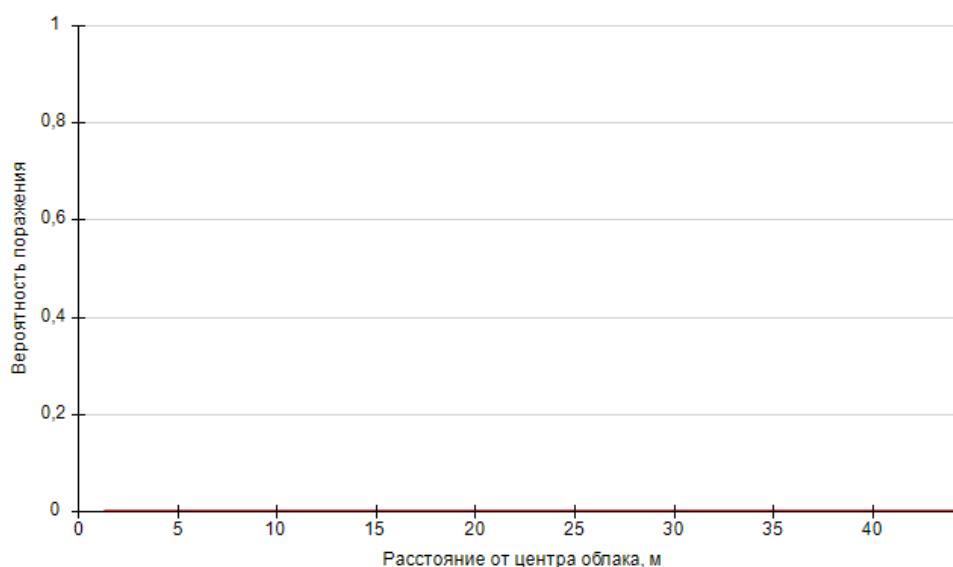
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,322 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{2,5}\right)^{9,3} = 18862656087405700000.$$

Значение пробит-функции составляет:

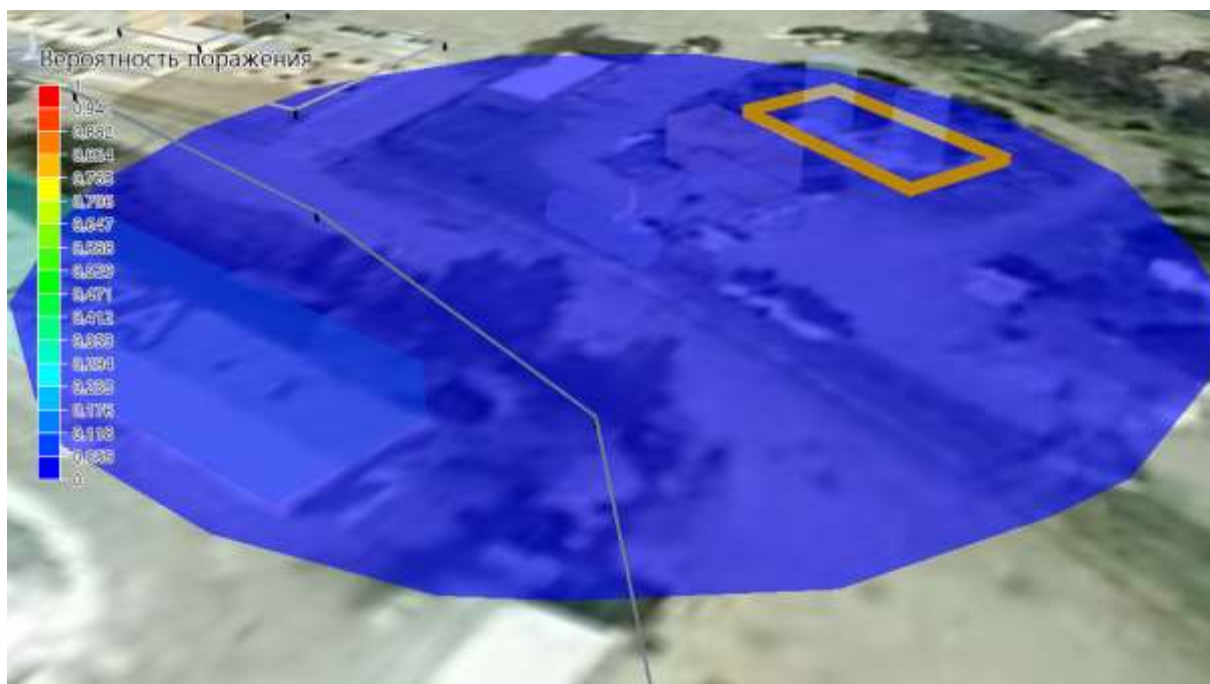
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 18862656087405700000 = -6,54$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



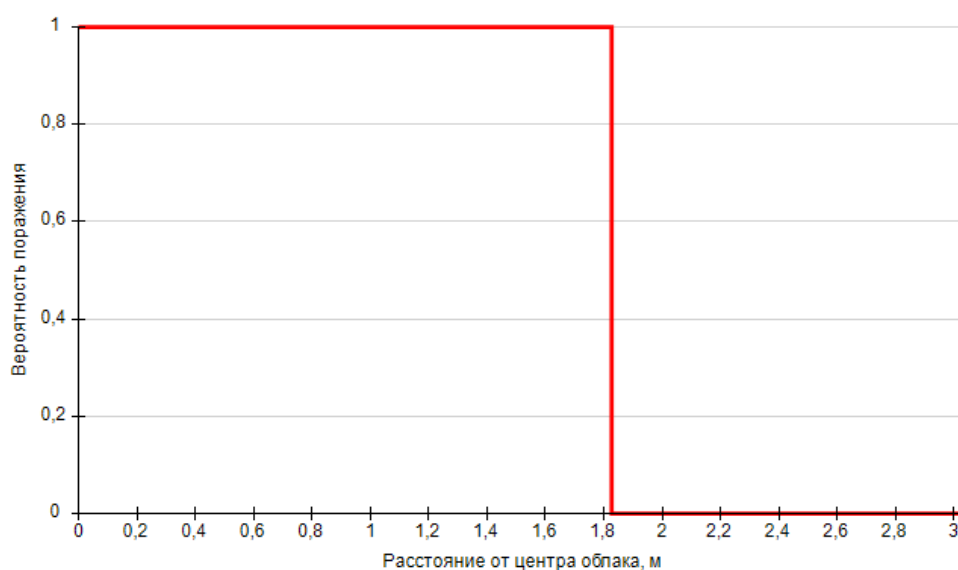
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

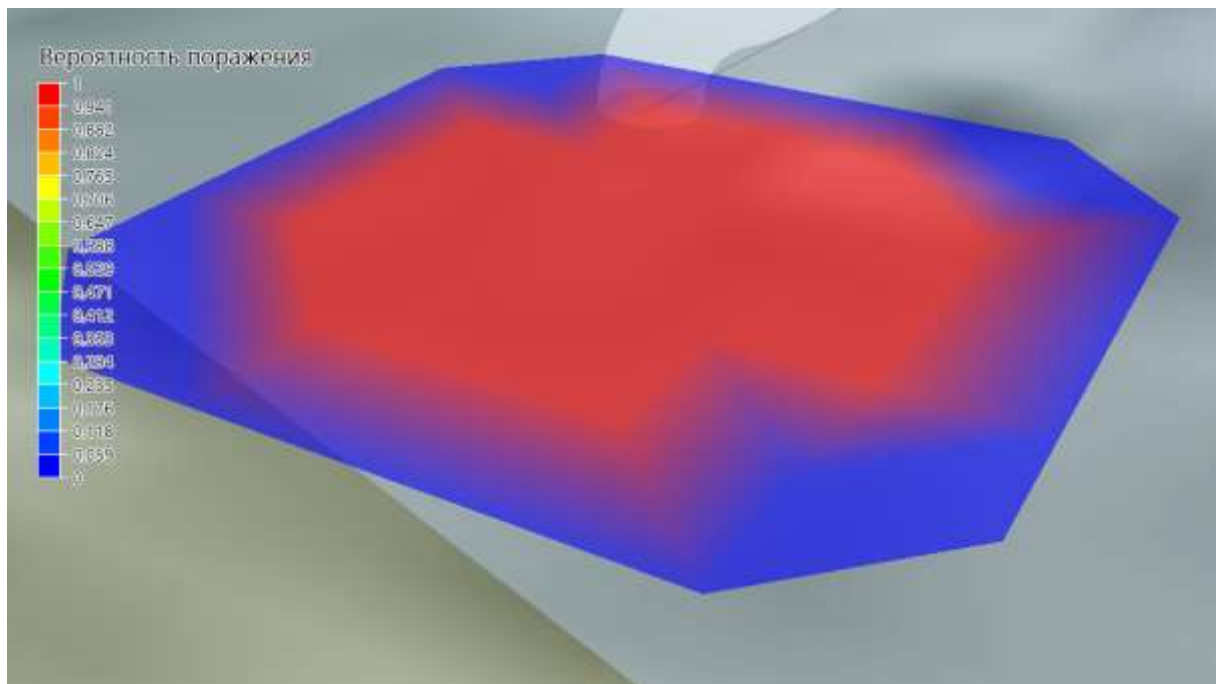
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 1,5 \text{ м} = 1,8 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.6.2. Разгерметизация 15 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 10$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $27,84 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 49,7 - 10 = 39,6 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{39,6}{5} = 12,9 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(12,9 \cdot 27,84^{4/3}) = 5,105. \end{aligned}$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,541954.

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 17,9 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,468 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 5,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

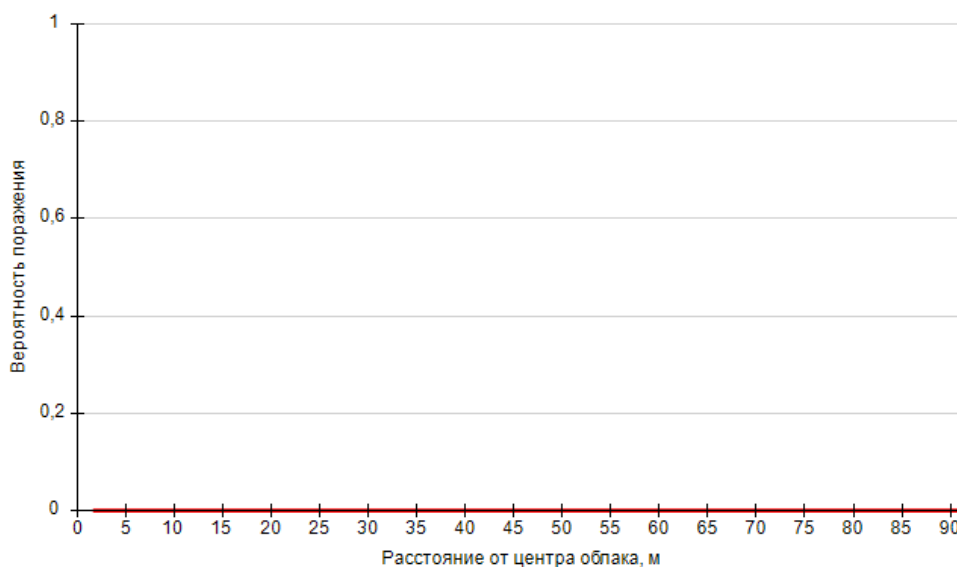
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,468 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{5,4} \right)^{9,3} = 11460423702023500.$$

Значение пробит-функции составляет:

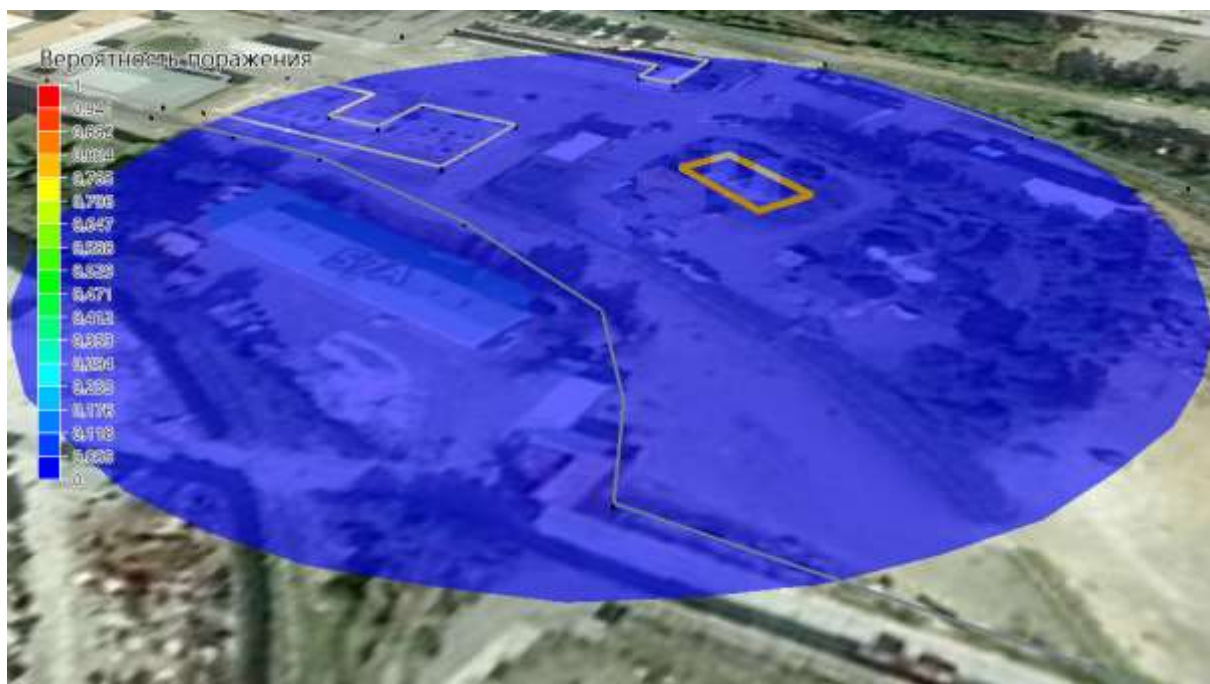
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 11460423702023500 = -4,614$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



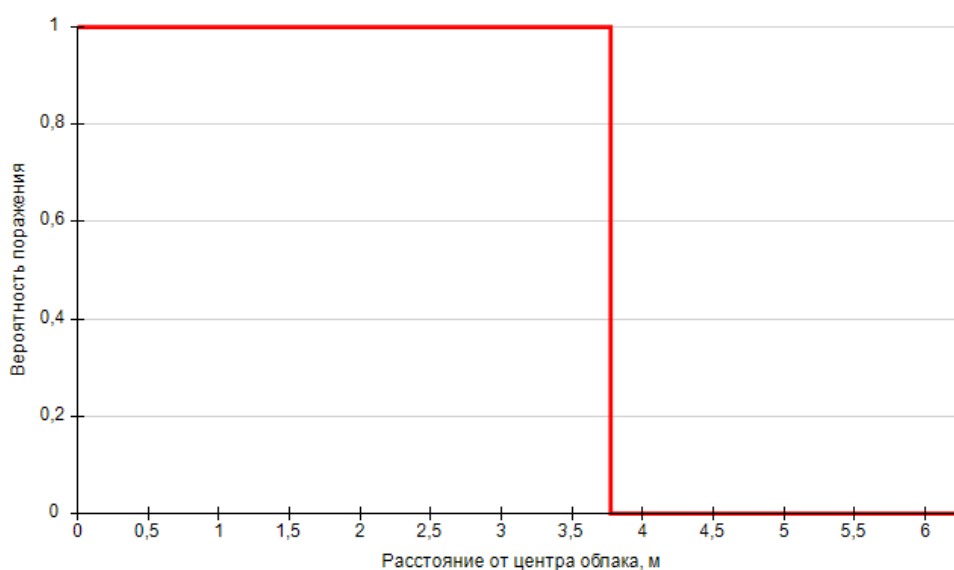
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

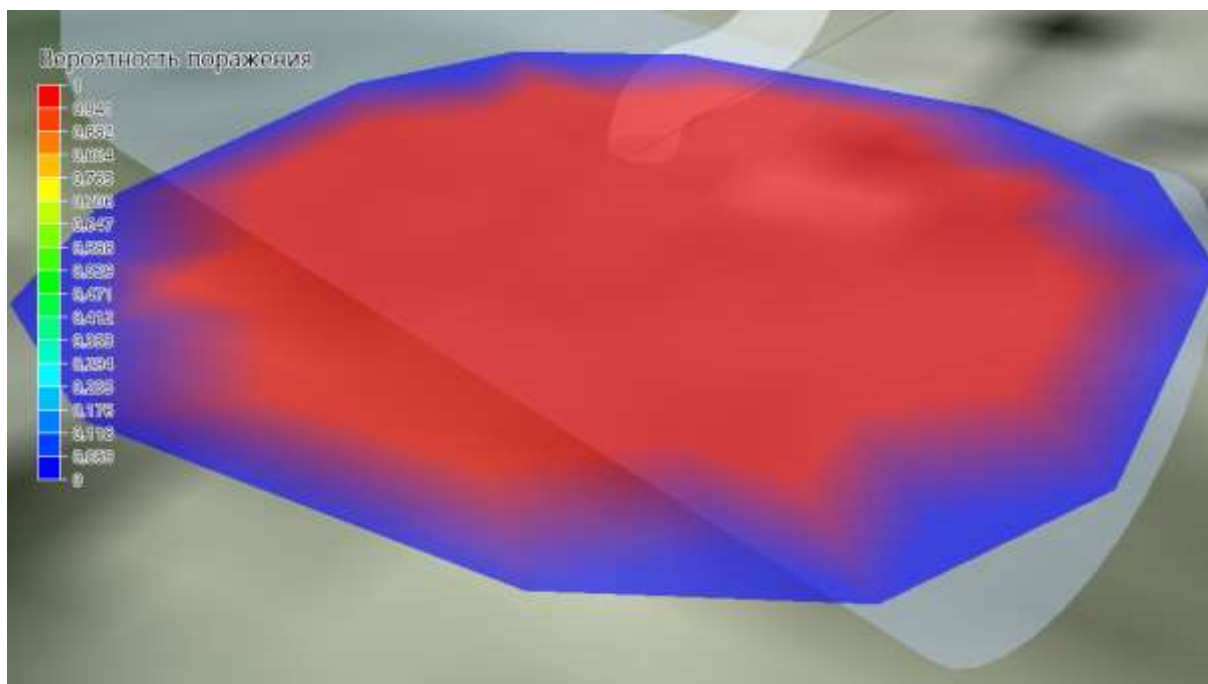
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 3,1 \text{ м} = 3,8 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.6.3. Разрушение

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 13,5$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $14,76 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 68,4 - 13,5 = 54,9 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

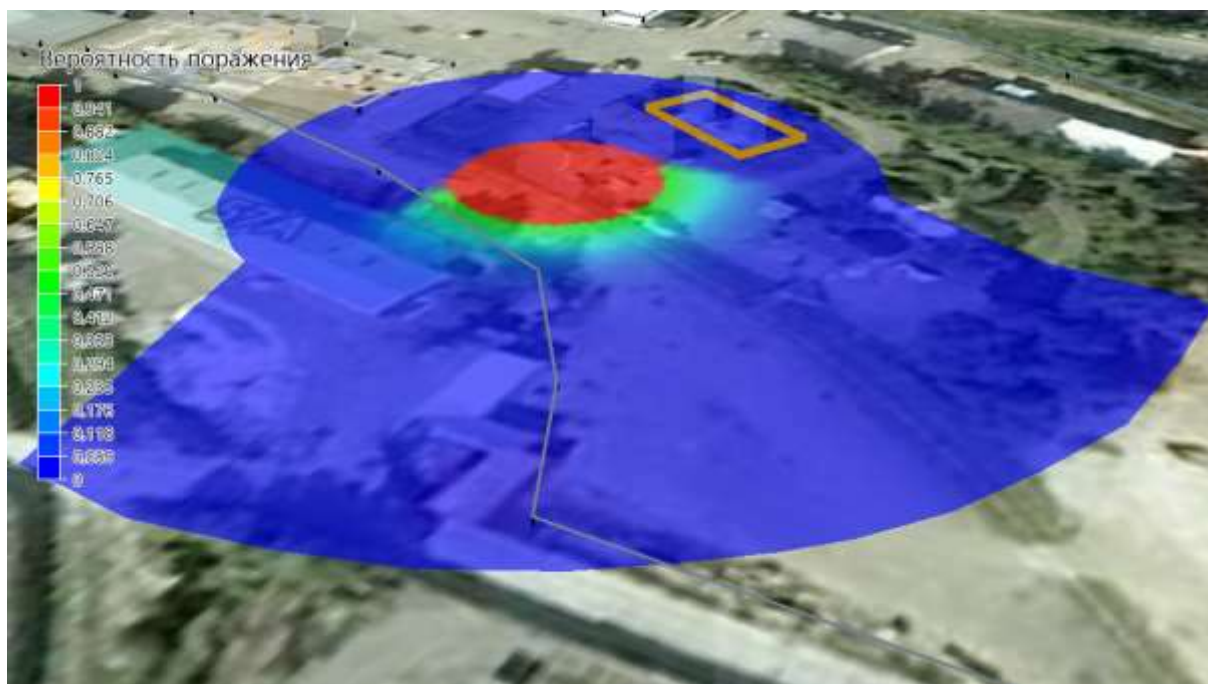
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{54,9}{5} = 16 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(16 \cdot 14,76^{4/3}) = 3,483. \end{aligned}$$

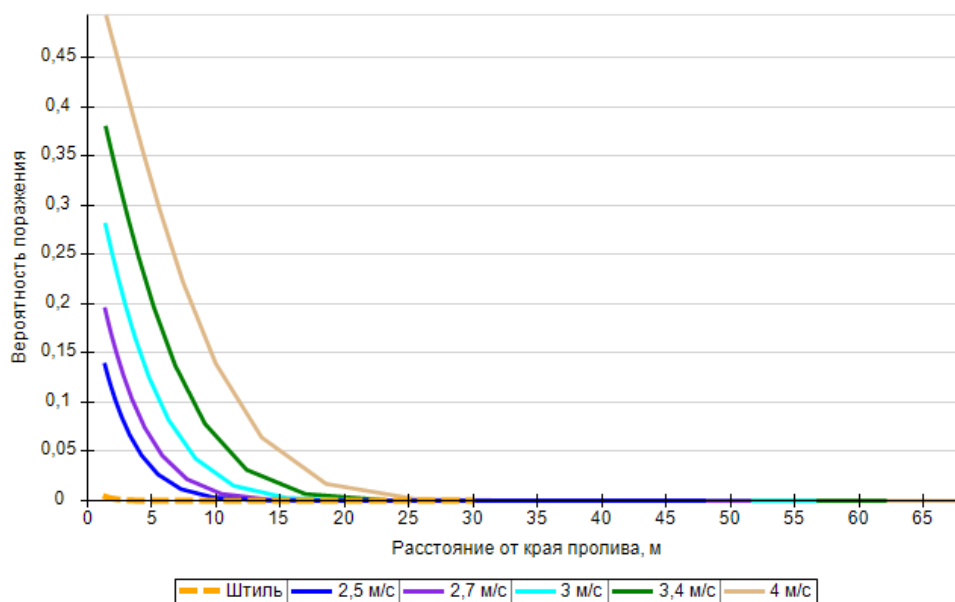
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,064334.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 79,6 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,566 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 26,3$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

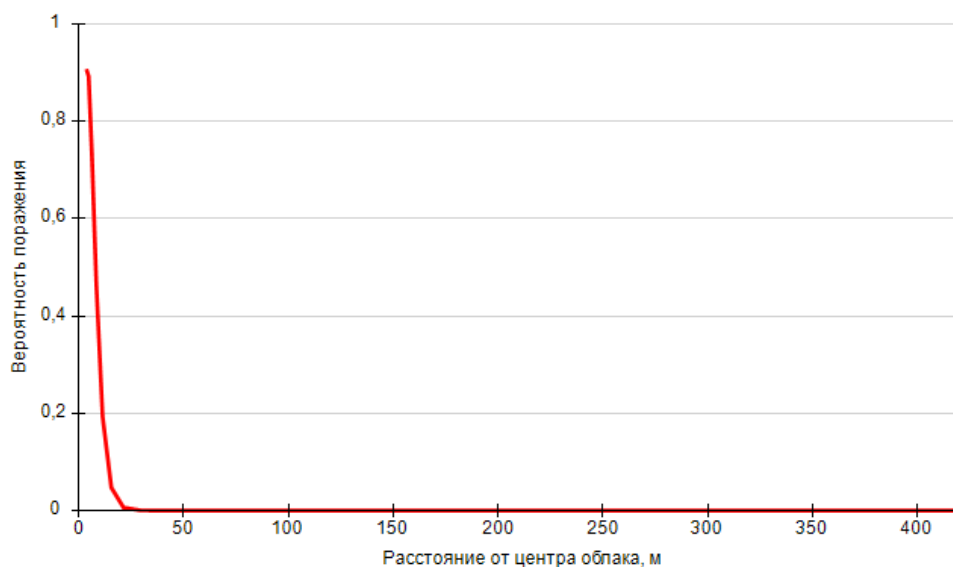
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,566 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{26,3} \right)^{9,3} = 4927933867,67.$$

Значение пробит-функции составляет:

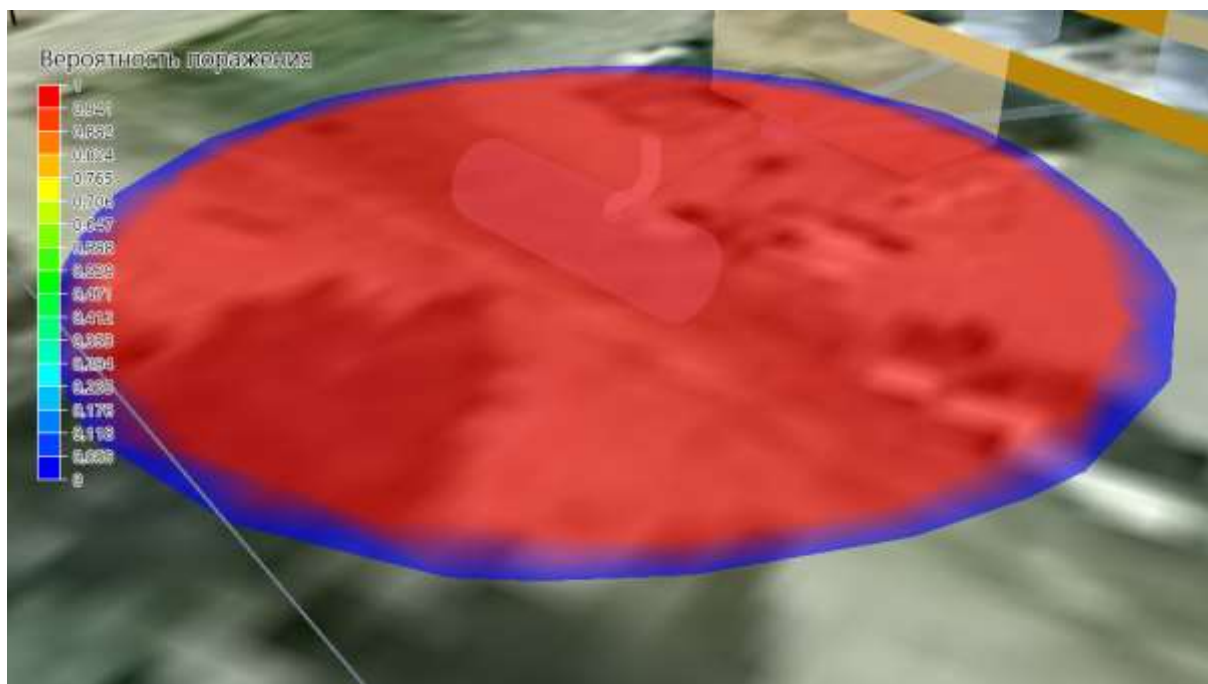
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 4927933867,67 = -0,803$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.7. РВС_01

6.7.1. Разгерметизация 25 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $18,48 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 64,5 - 12,8 = 51,7 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

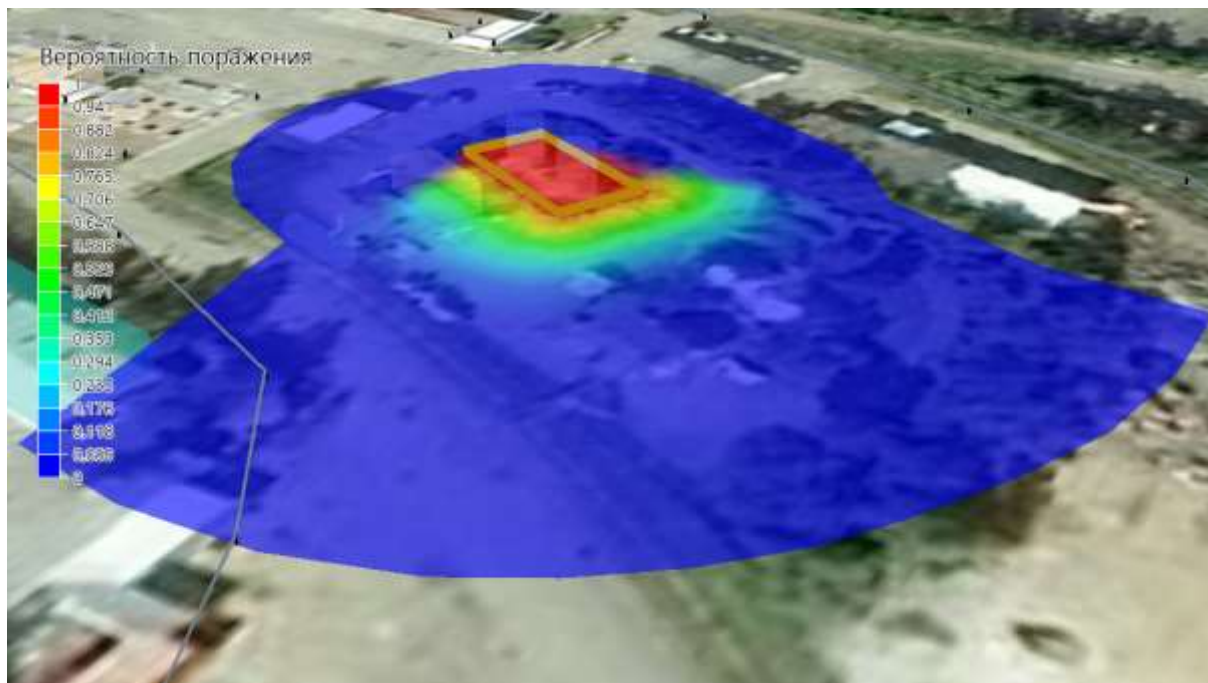
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{51,7}{5} = 15,3 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,3 \cdot 18,48^{4/3}) = 4,144. \end{aligned}$$

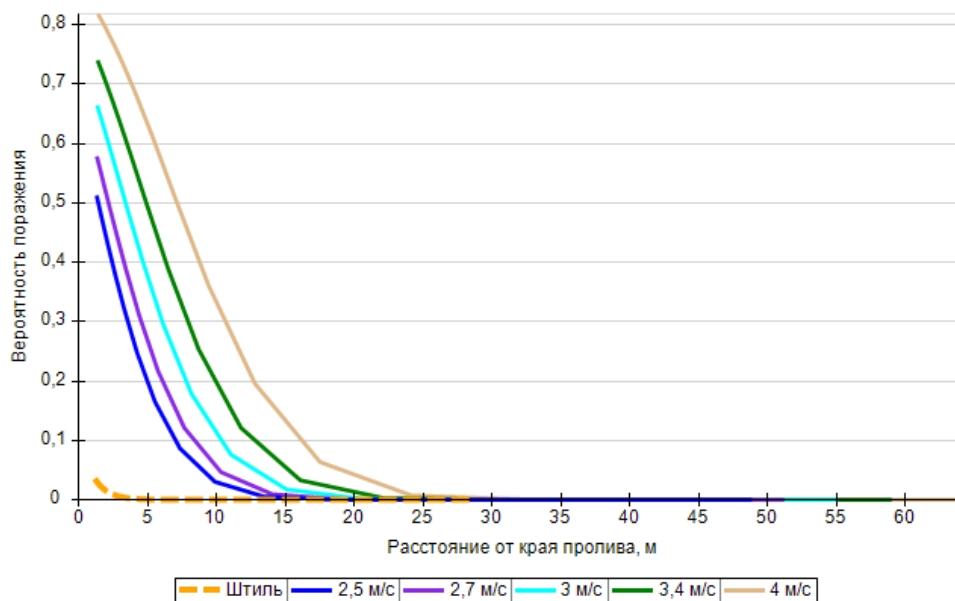
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,195707.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 61,7 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,567 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 20,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

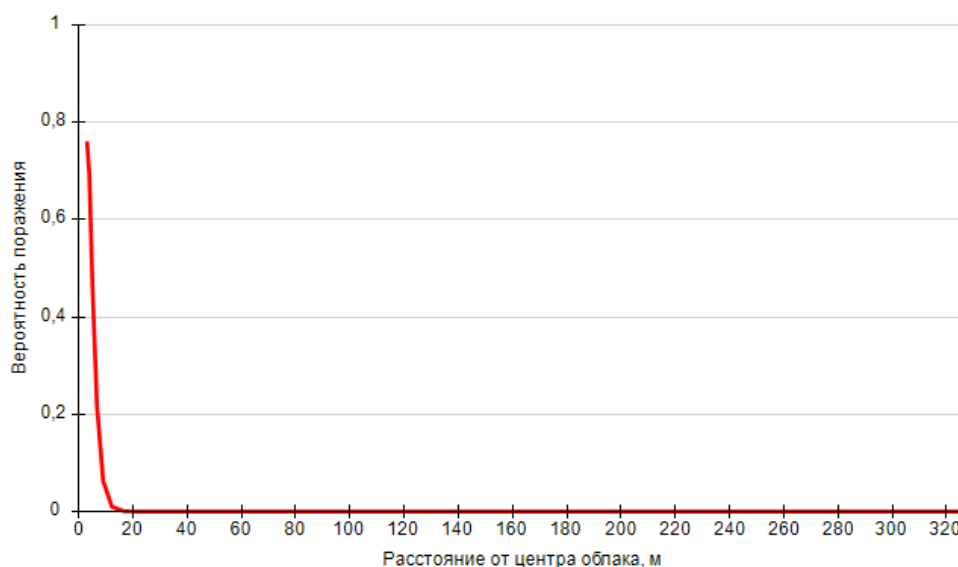
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,567 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{20,4}\right)^{9,3} = 51912703340,541.$$

Значение пробит-функции составляет:

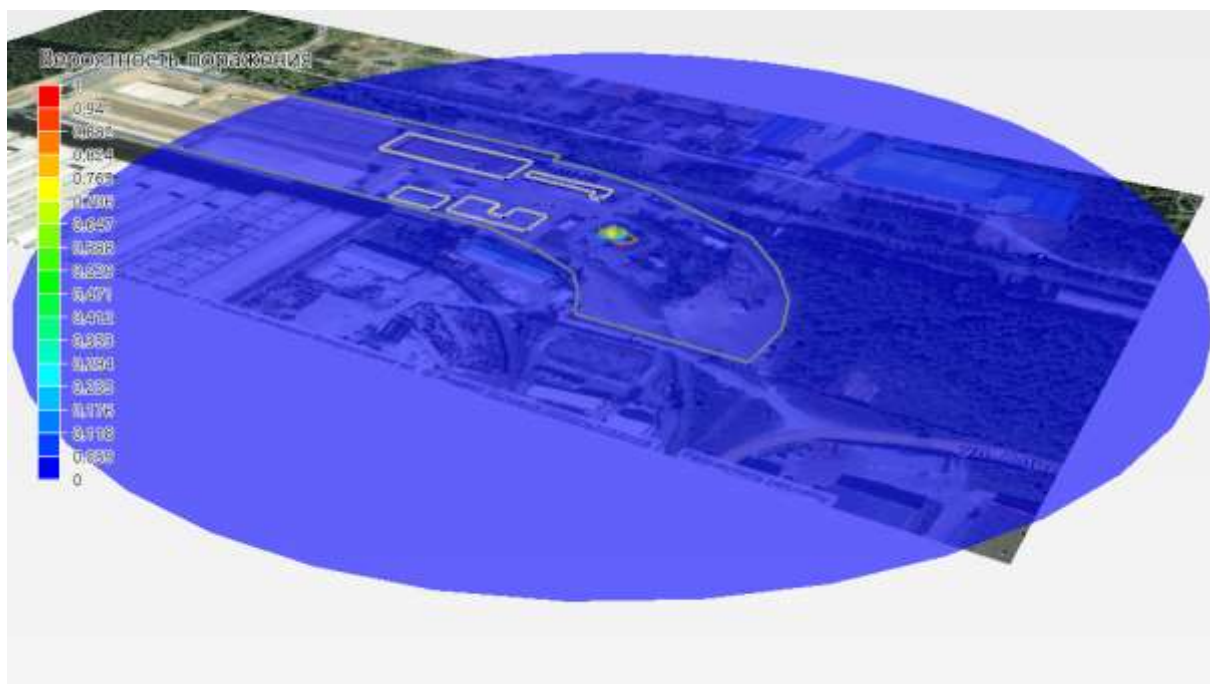
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 51912703340,541 = -1,415$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



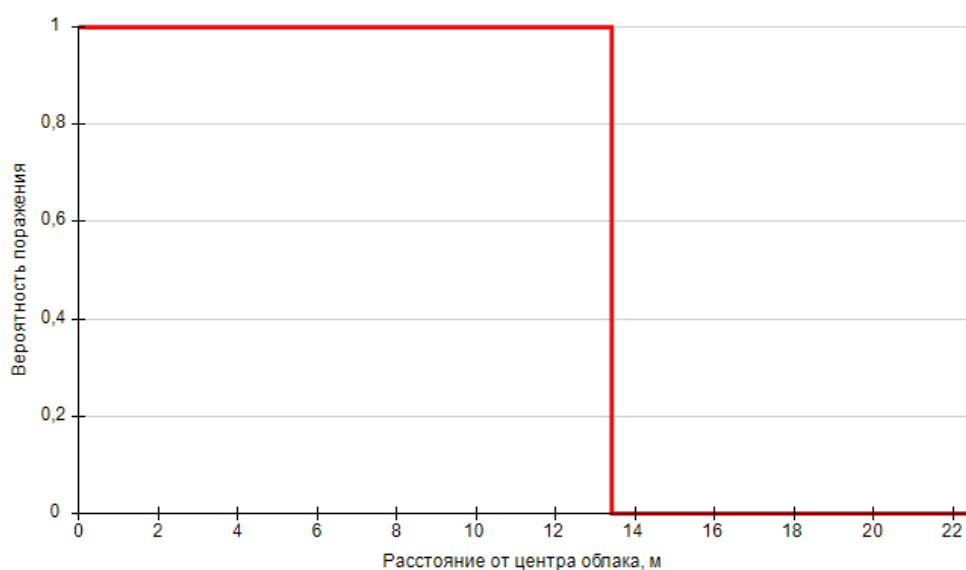
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

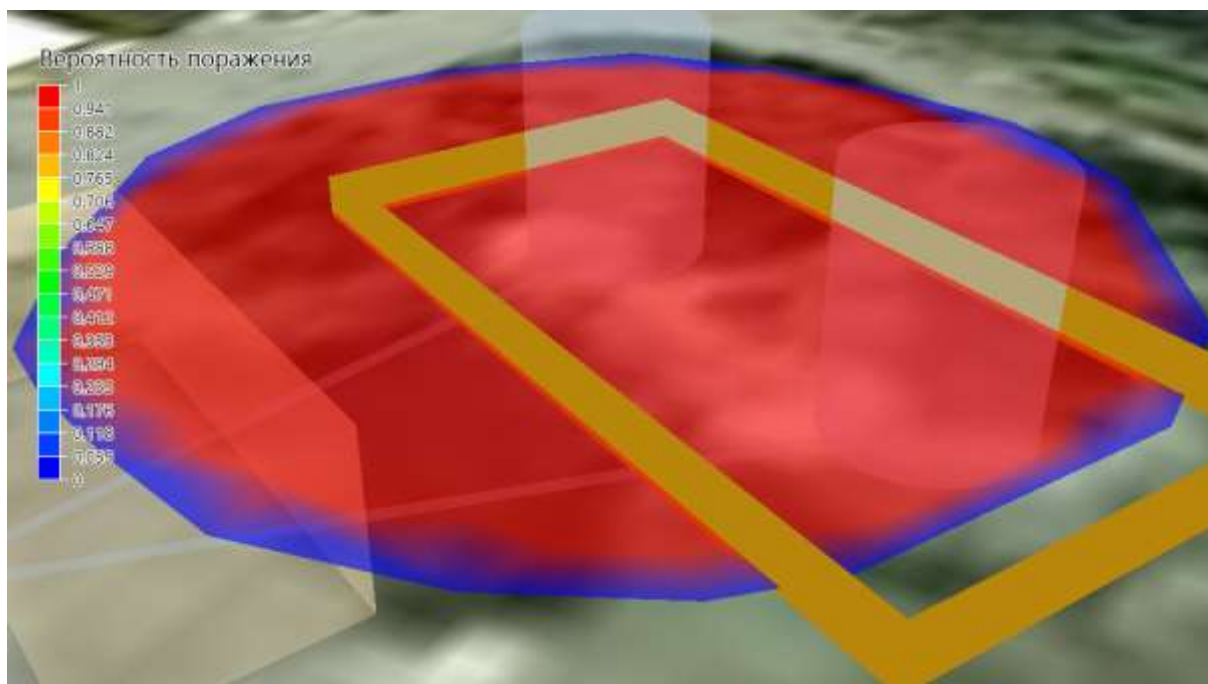
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 11,2 \text{ м} = 13,4 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.7.2. Разгерметизация 100 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $18,48 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 64,5 - 12,8 = 51,7 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

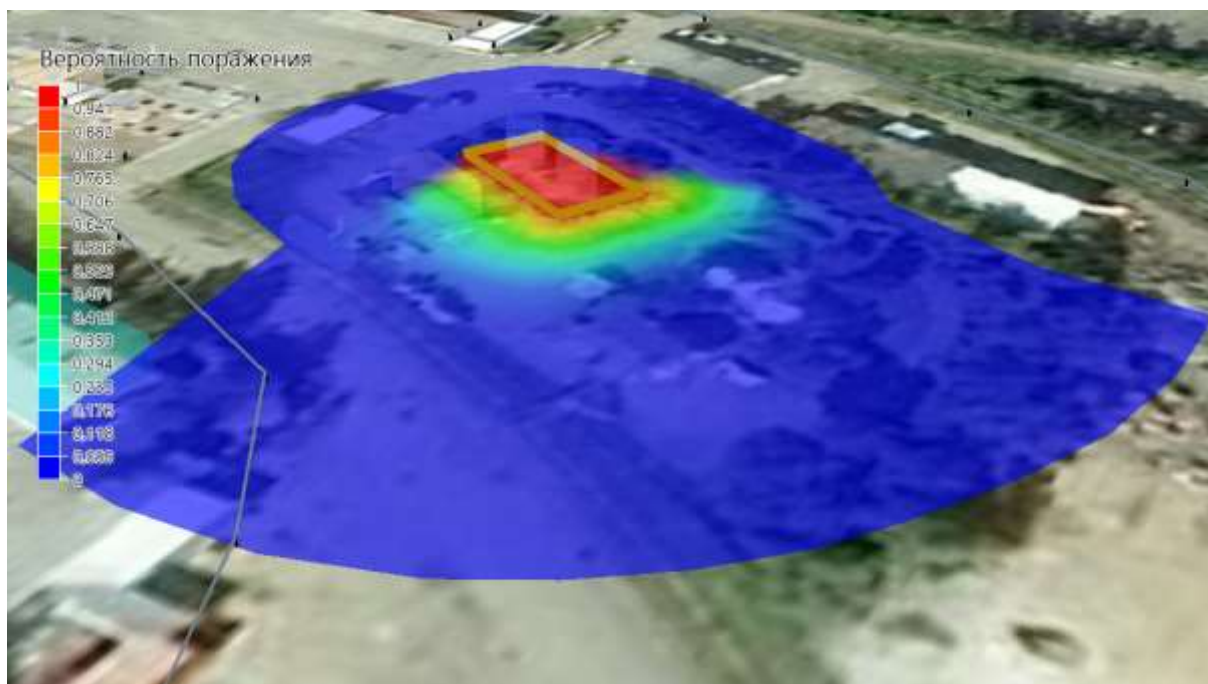
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{51,7}{5} = 15,3 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,3 \cdot 18,48^{4/3}) = 4,144. \end{aligned}$$

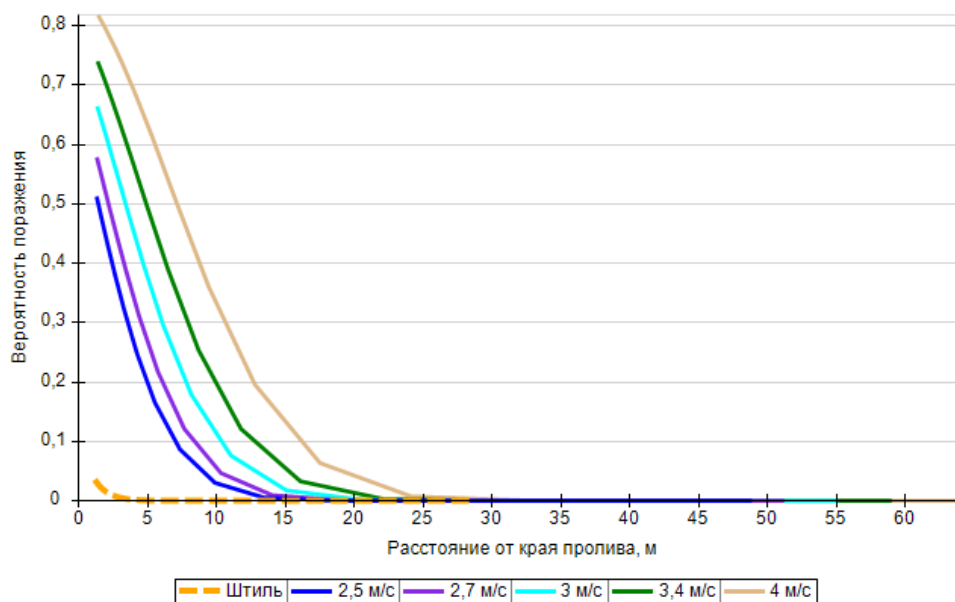
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,195707.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 61,7 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,567 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 20,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

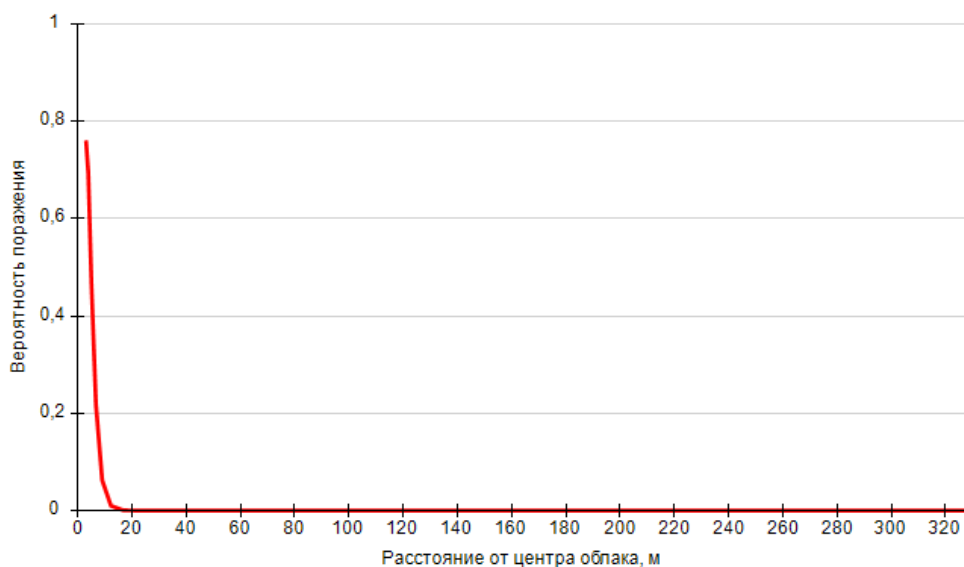
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,567 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{20,4} \right)^{9,3} = 51912703340,541.$$

Значение пробит-функции составляет:

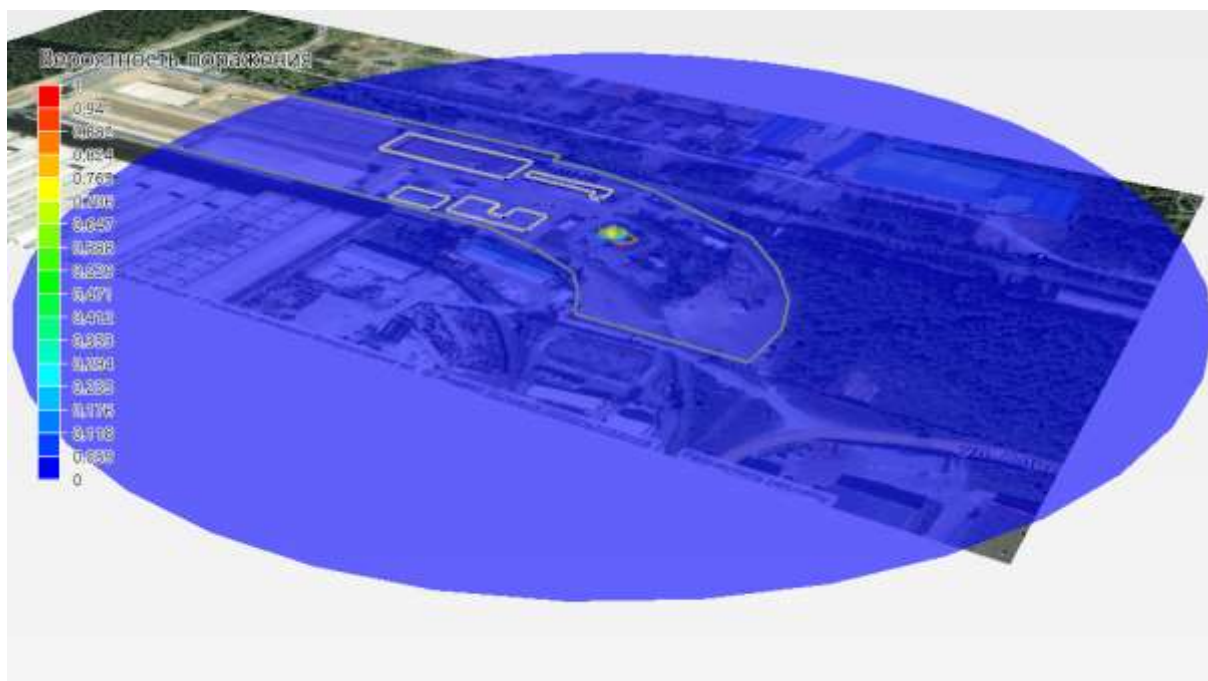
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 51912703340,541 = -1,415$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



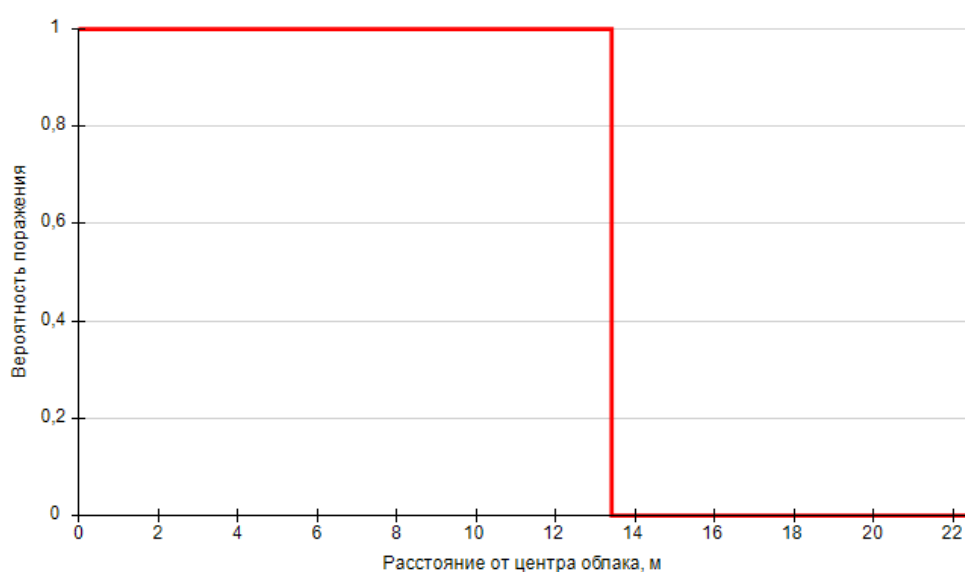
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

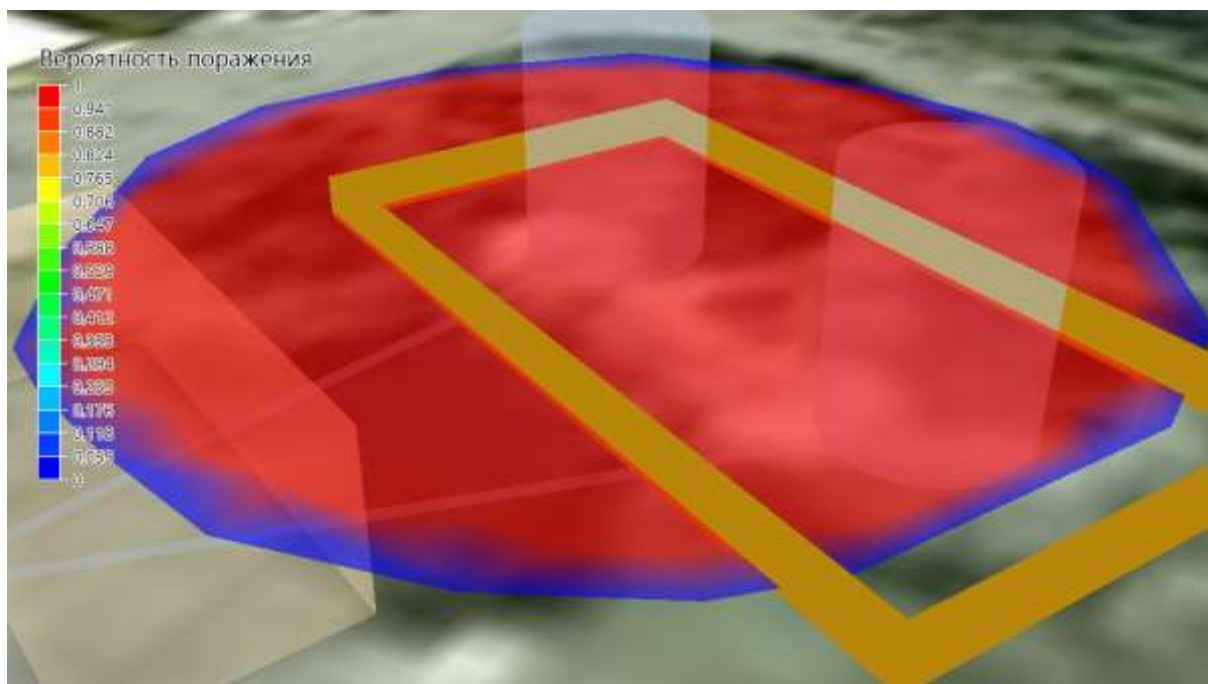
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 11,2 \text{ м} = 13,4 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.7.3. Разрушение

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 15,1$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $12,94 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 77 - 15,1 = 61,9 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

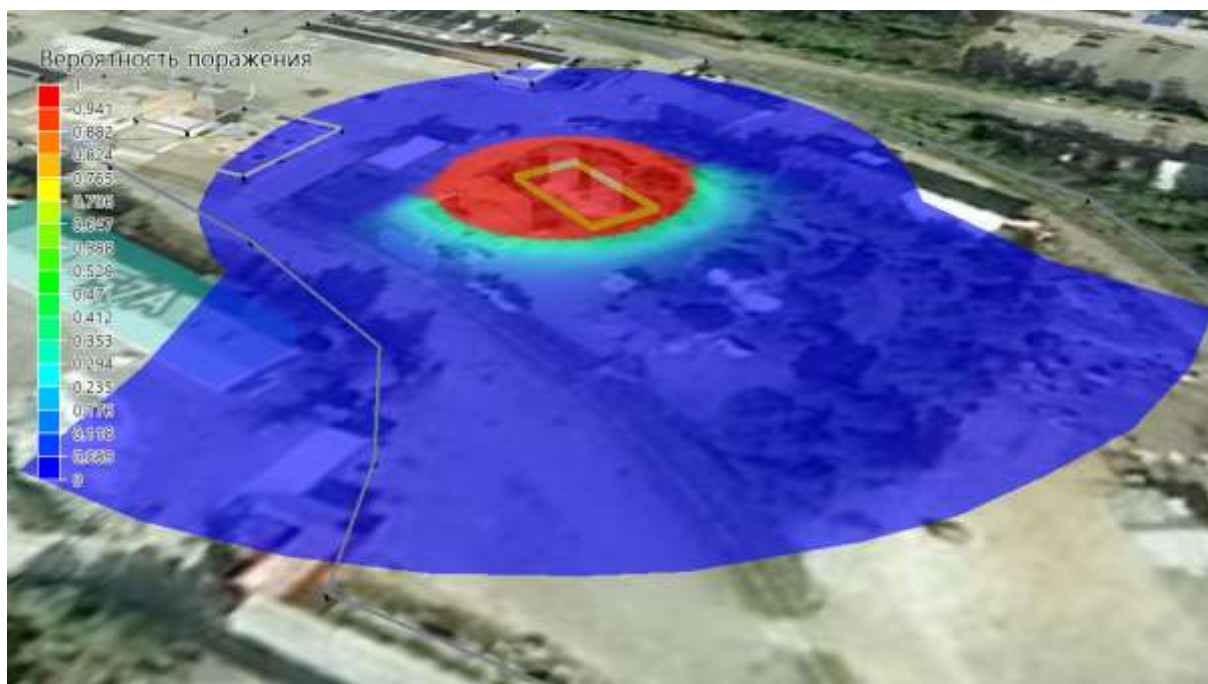
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{61,9}{5} = 17,4 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(17,4 \cdot 12,94^{4/3}) = 3,247. \end{aligned}$$

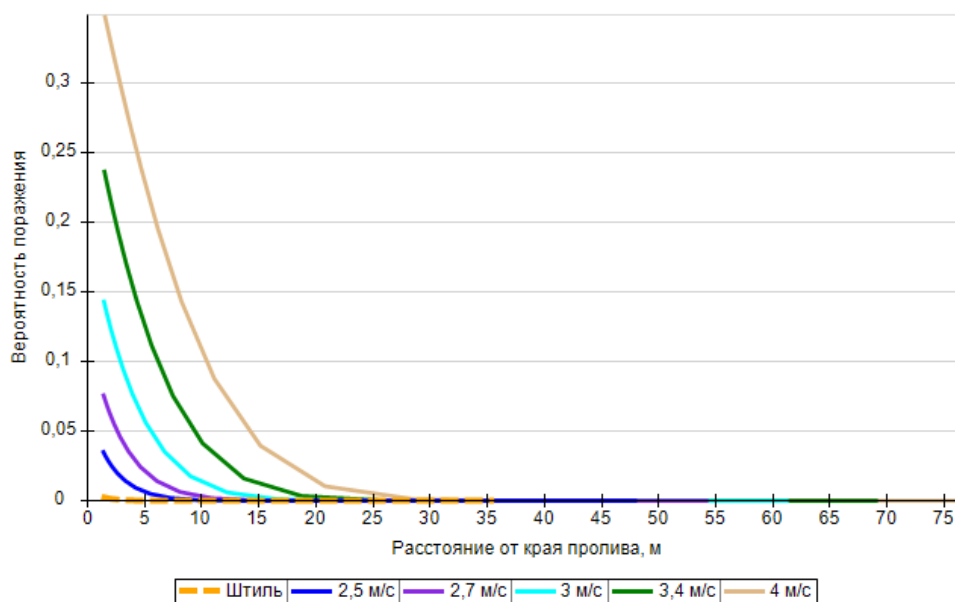
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,039625.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 102 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,572 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 33,9$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

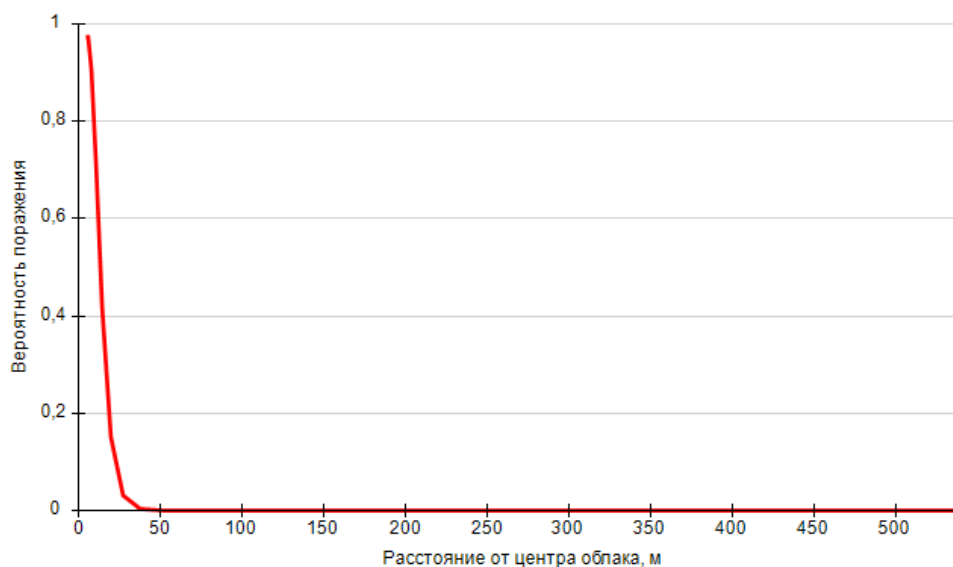
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,572 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{33,9} \right)^{9,3} = 470147336,639.$$

Значение пробит-функции составляет:

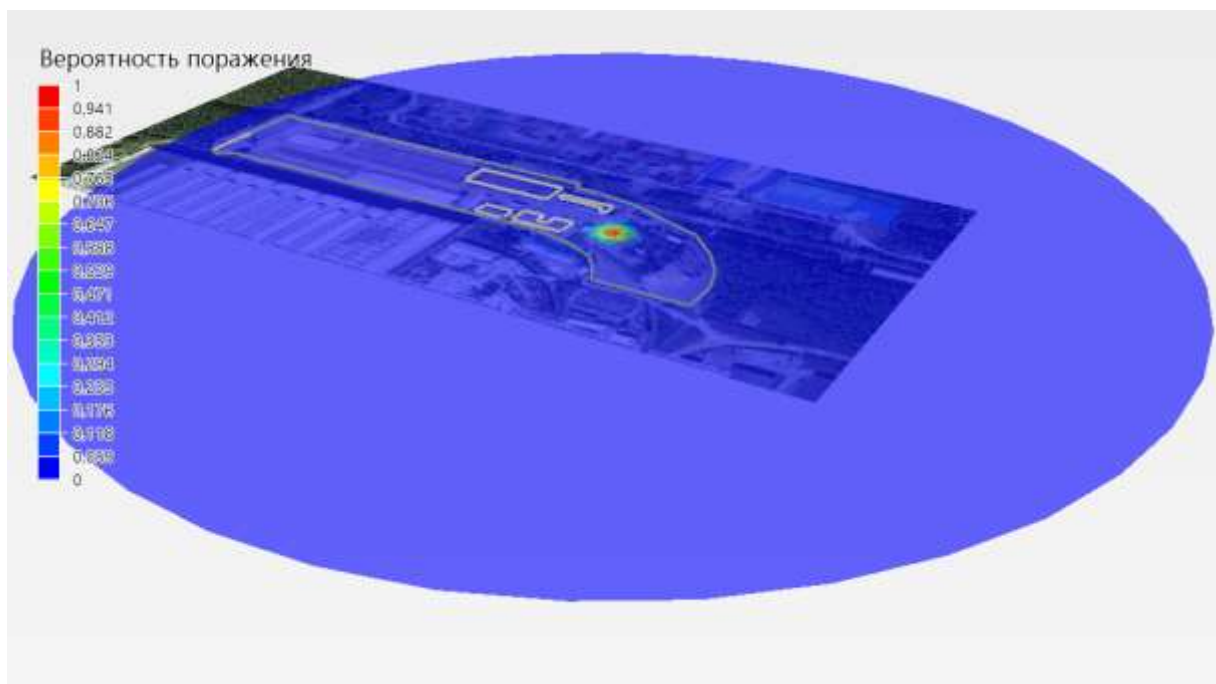
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 470147336,639 = -0,192$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



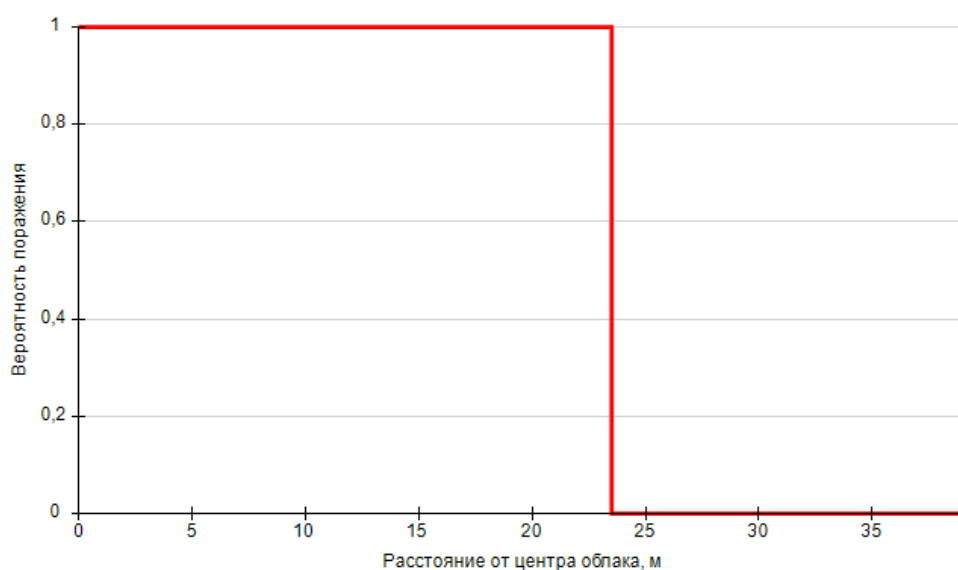
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

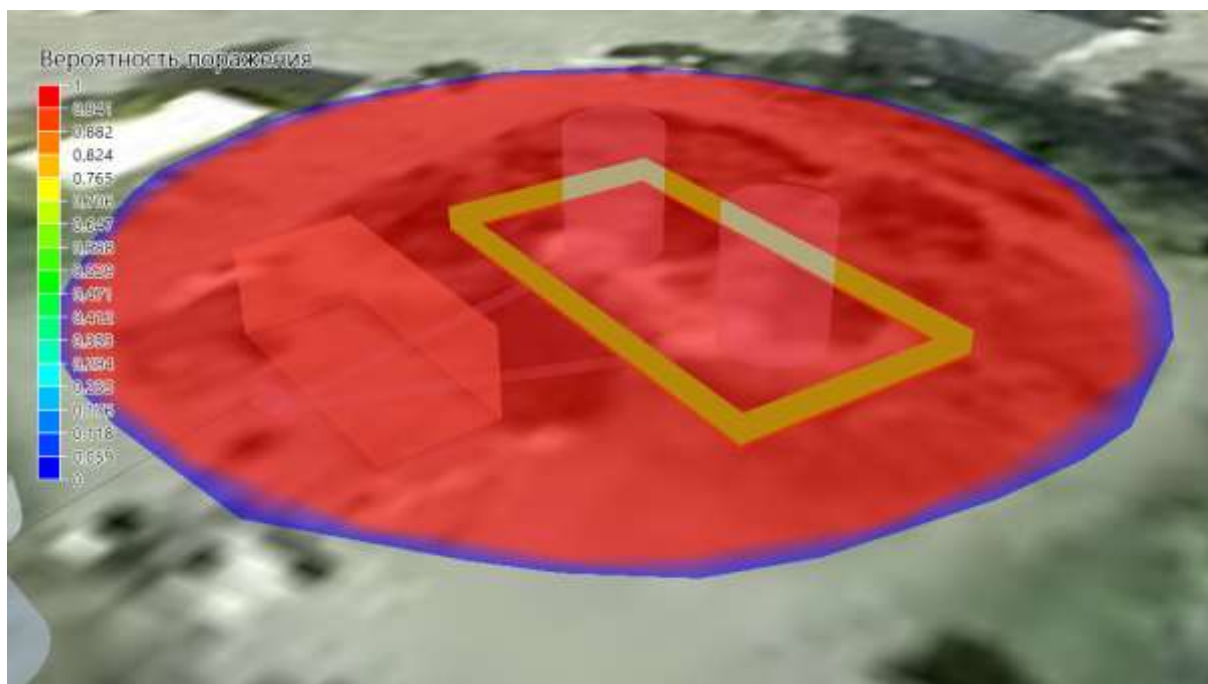
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 19,6 \text{ м} = 23,5 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.7.4. Пожар на дыхательной арматуре

Пожар на дыхательной арматуре

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 9,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $27,78 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 48,1 - 9,8 = 38,3 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

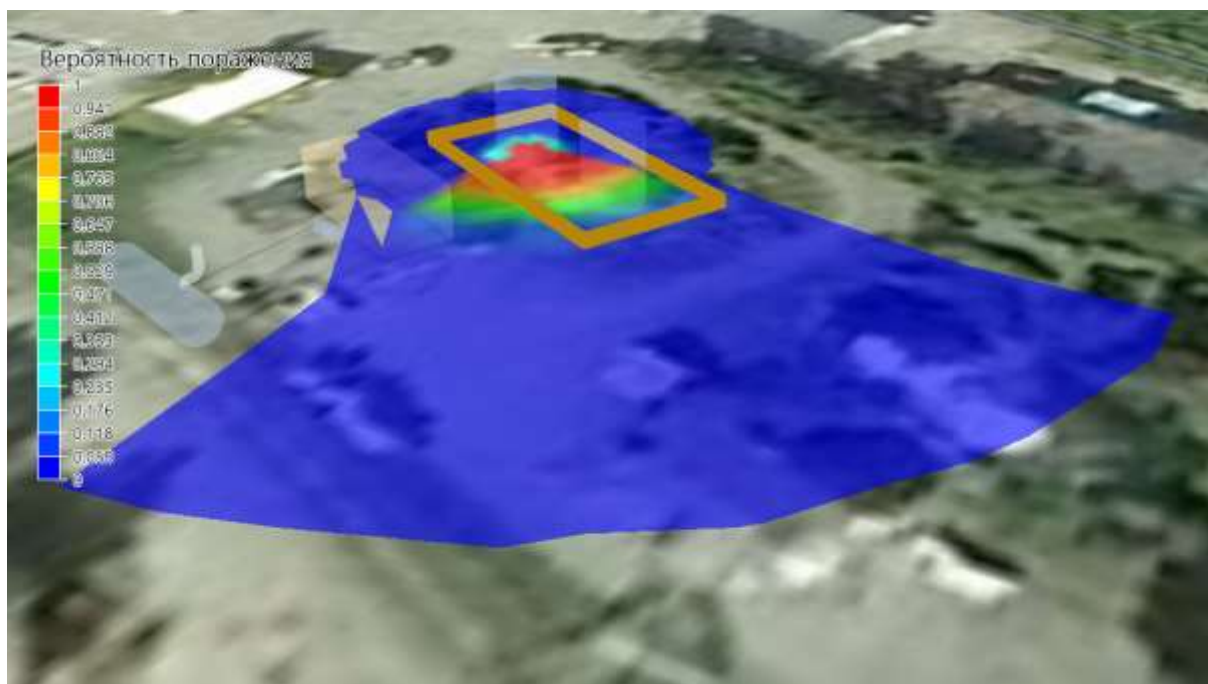
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{38,3}{5} = 12,7 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(12,7 \cdot 27,78^{4/3}) = 5,047. \end{aligned}$$

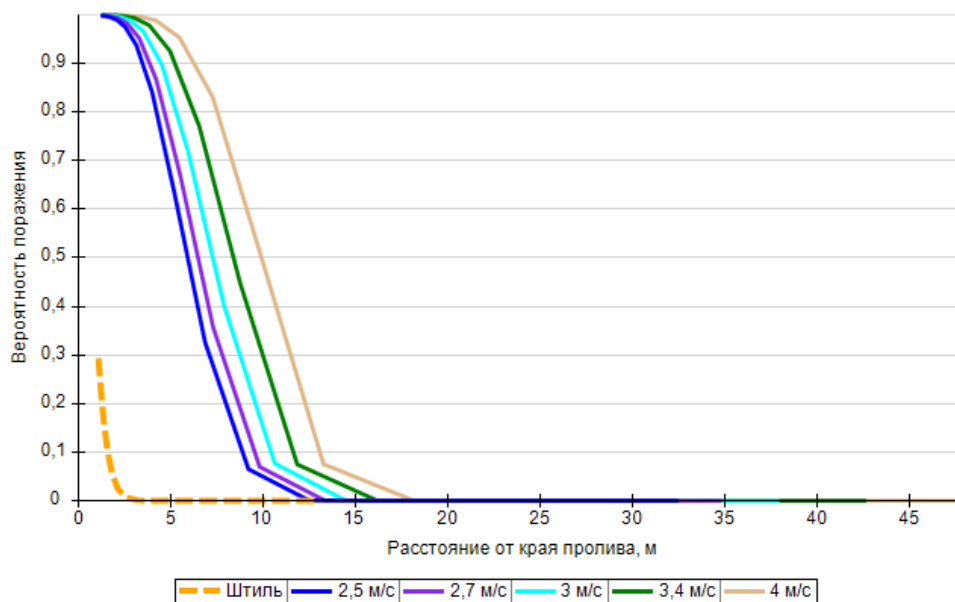
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,518781.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

6.7.5. Пожар по всей поверхности

Пожар по всей поверхности

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 11,9$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $28,51 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 59,8 - 11,9 = 47,9 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

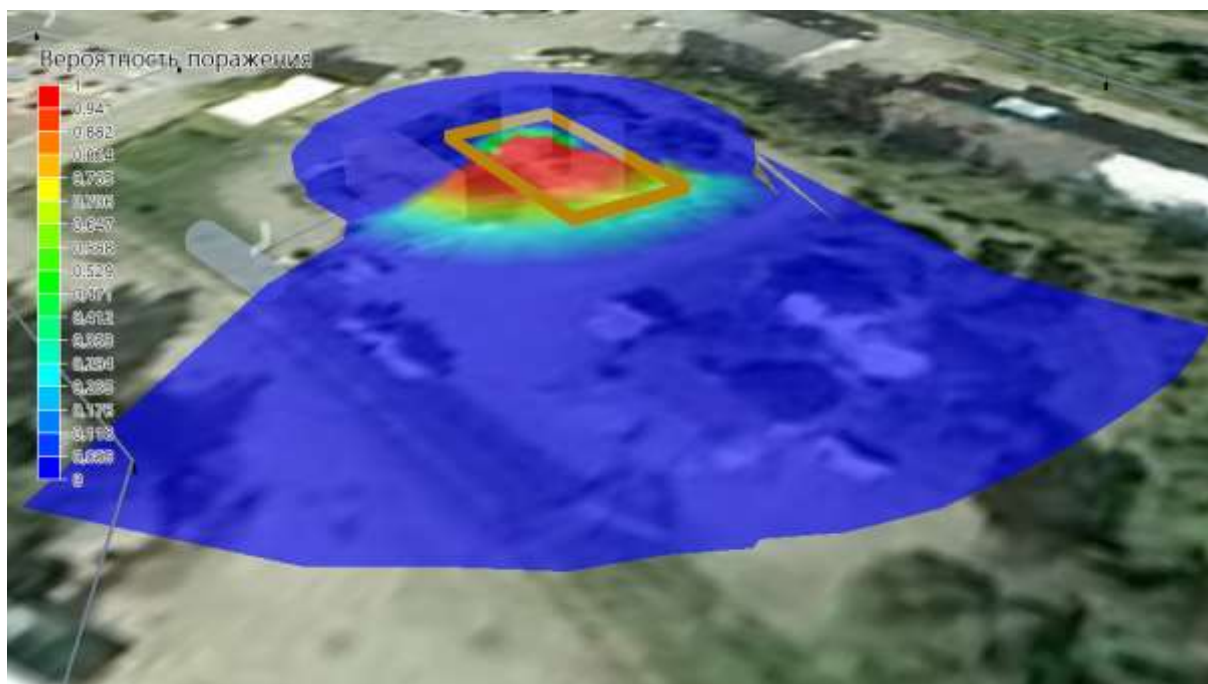
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{47,9}{5} = 14,6 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(14,6 \cdot 28,51^{4/3}) = 5,495. \end{aligned}$$

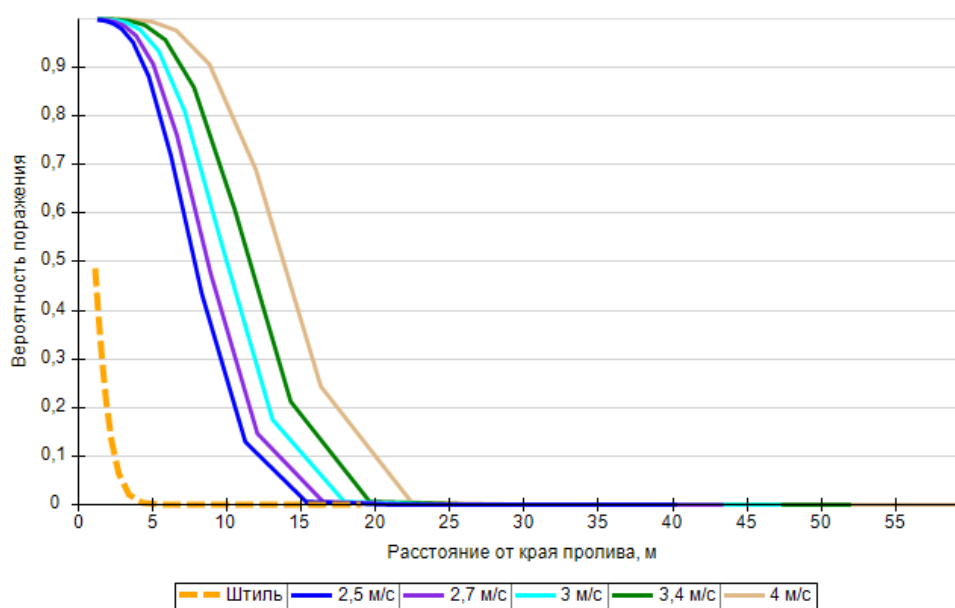
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,690108.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

6.8. PBC_02

6.8.1. Разгерметизация 25 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $18,48 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 64,5 - 12,8 = 51,7 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

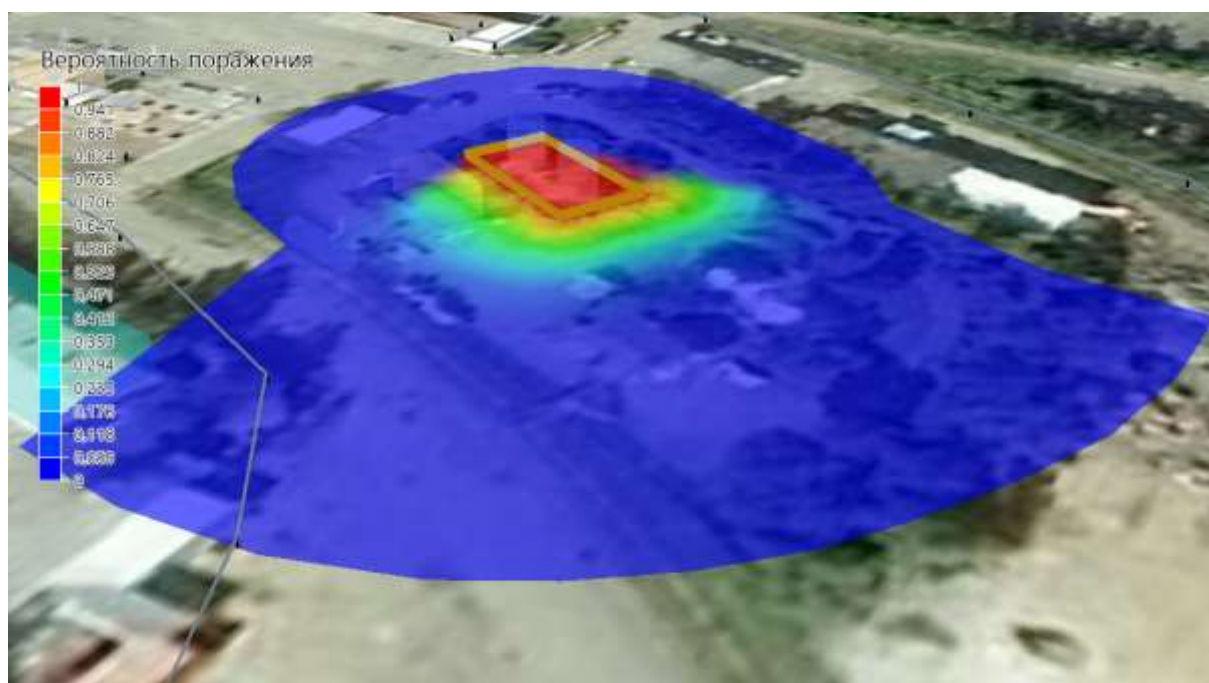
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{51,7}{5} = 15,3 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,3 \cdot 18,48^{4/3}) = 4,144. \end{aligned}$$

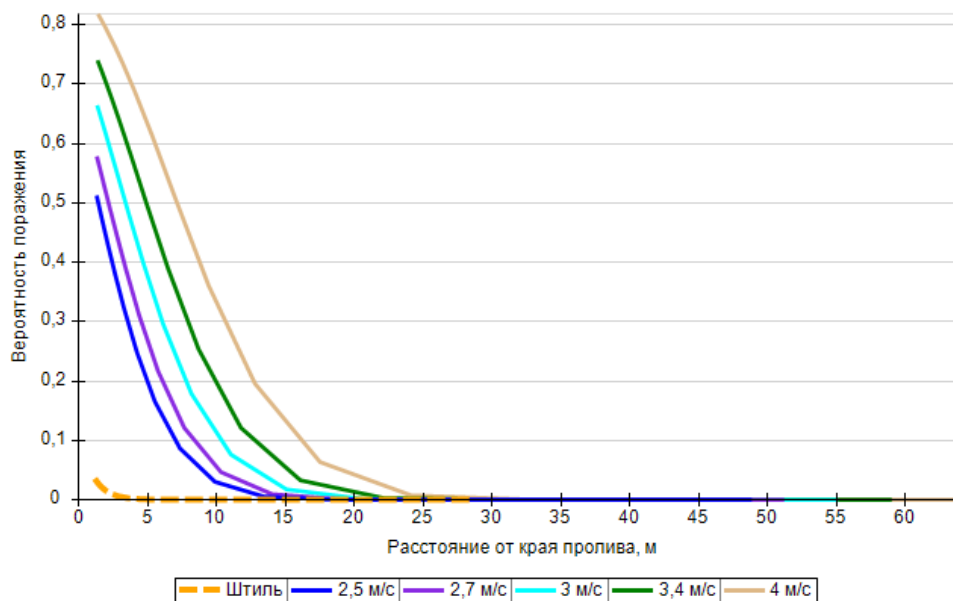
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,195707.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 61,7 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,567 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 20,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

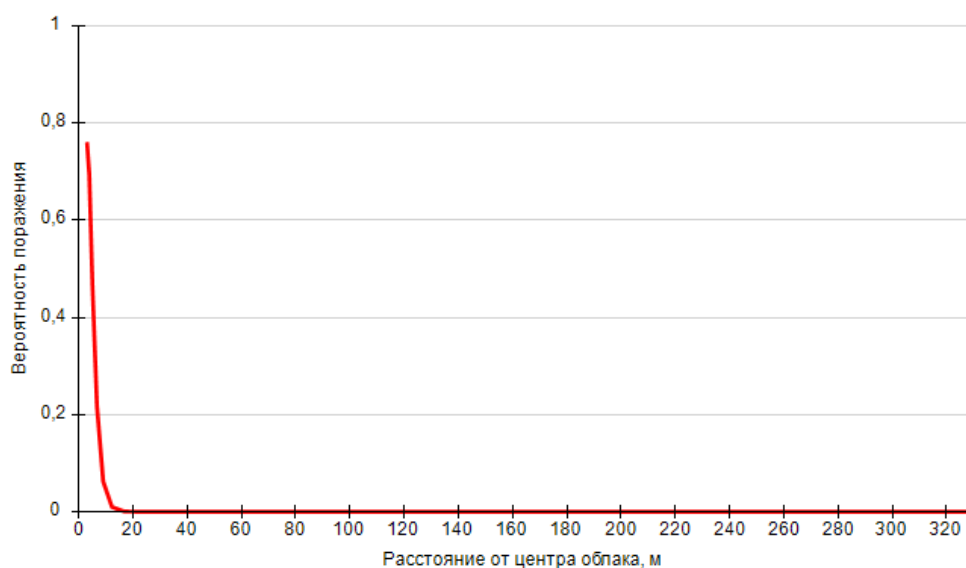
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,567 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{20,4} \right)^{9,3} = 51912703340,541.$$

Значение пробит-функции составляет:

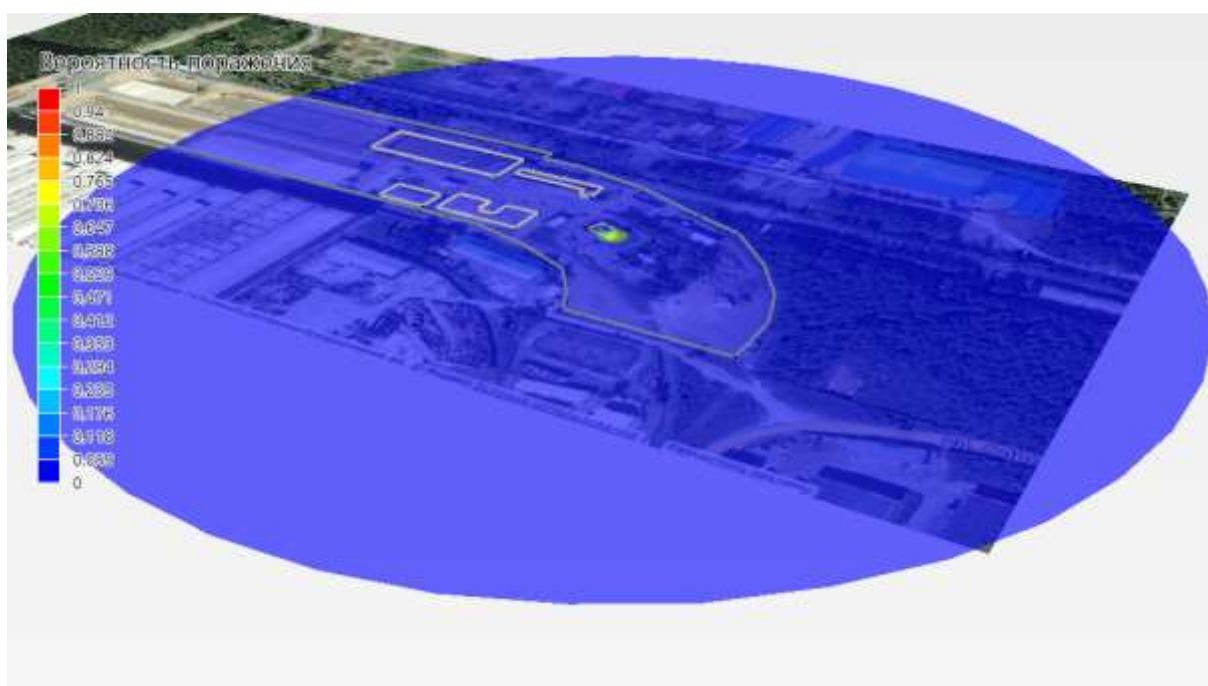
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 51912703340,541 = -1,415$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



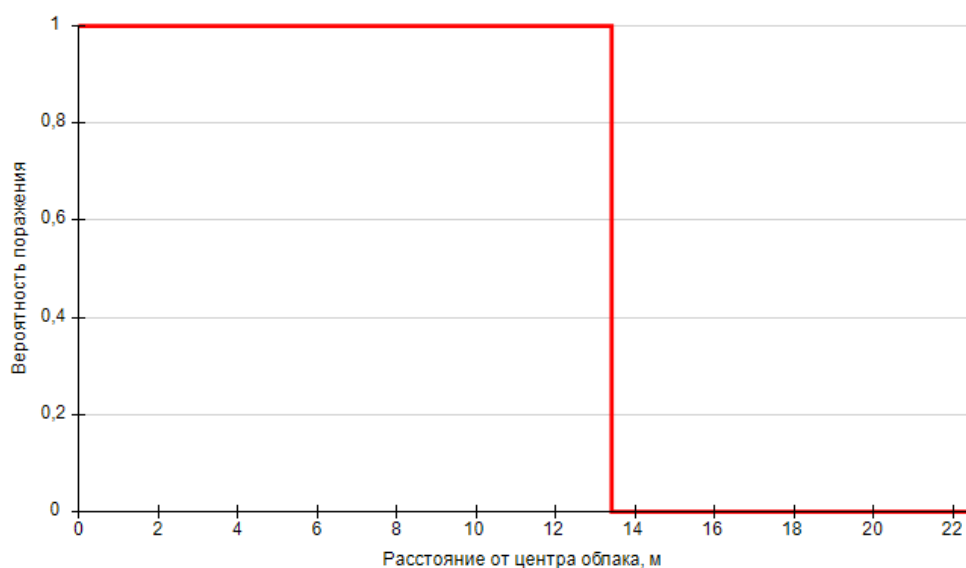
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

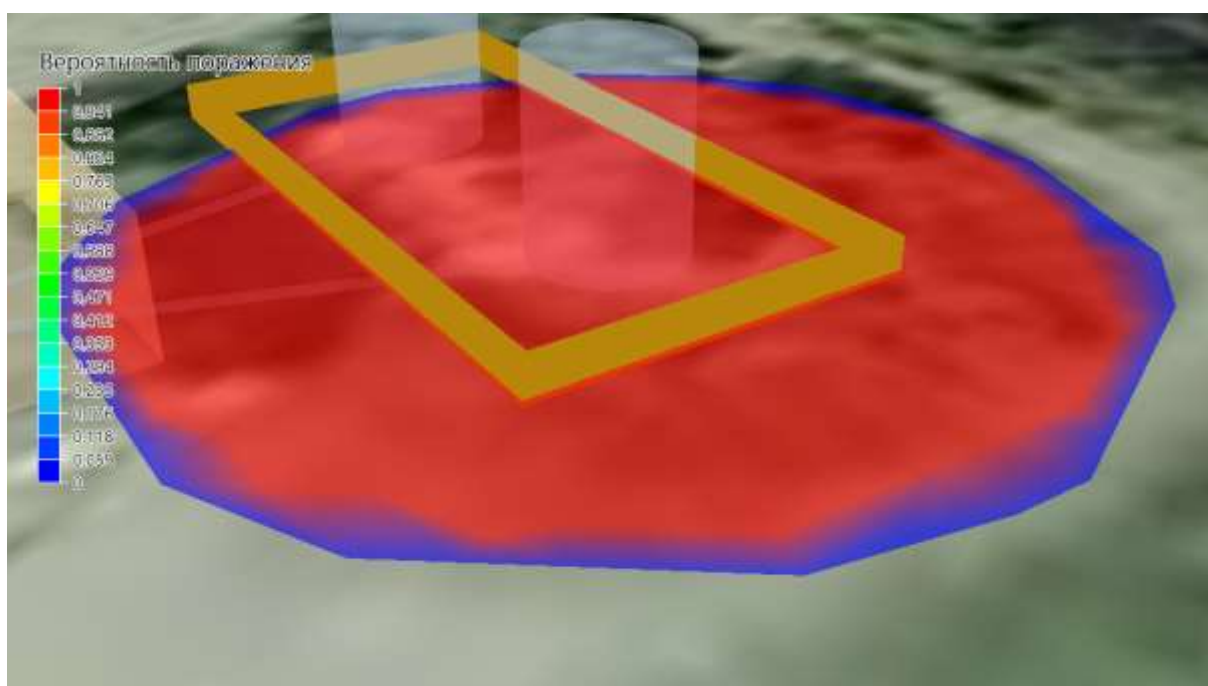
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 11,2 \text{ м} = 13,4 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.8.2. Разгерметизация 100 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 12,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек,

расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $18,48 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 64,5 - 12,8 = 51,7 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

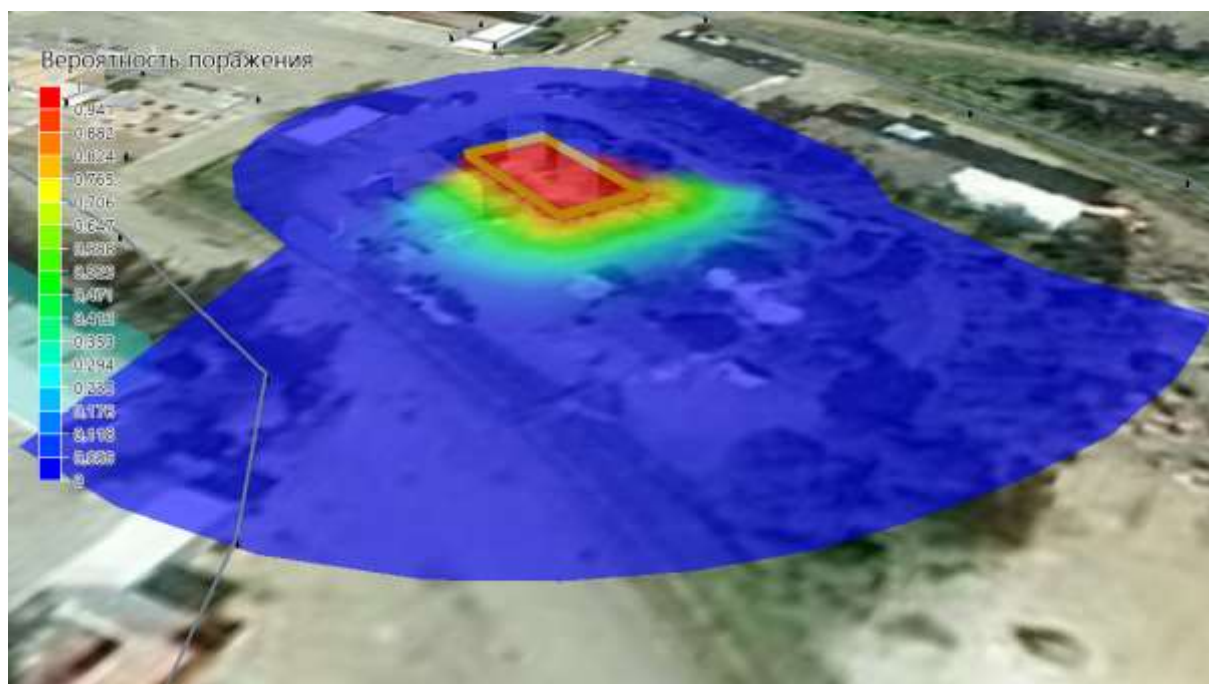
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{51,7}{5} = 15,3 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,3 \cdot 18,48^{4/3}) = 4,144. \end{aligned}$$

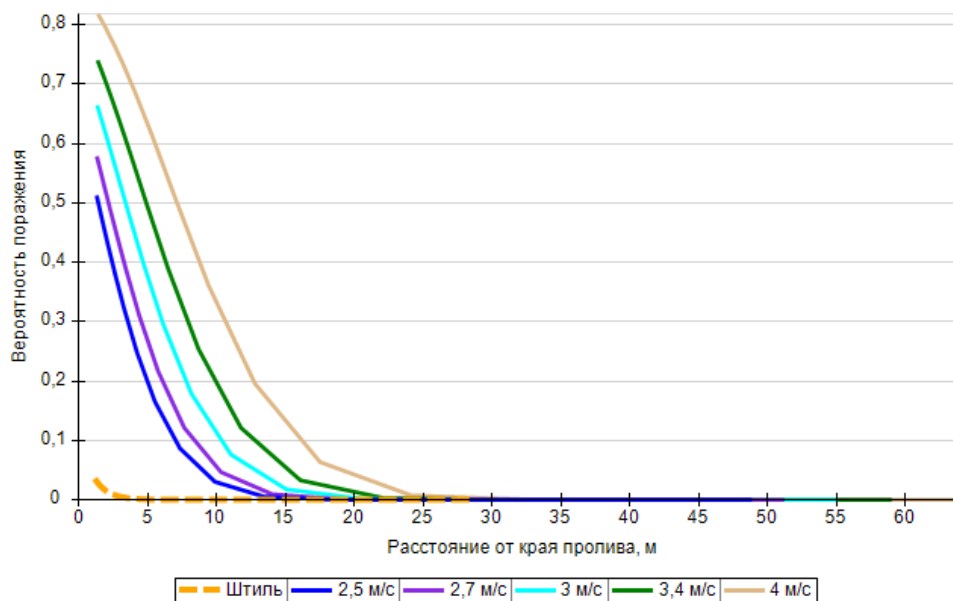
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,195707.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 61,7 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,567 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 20,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

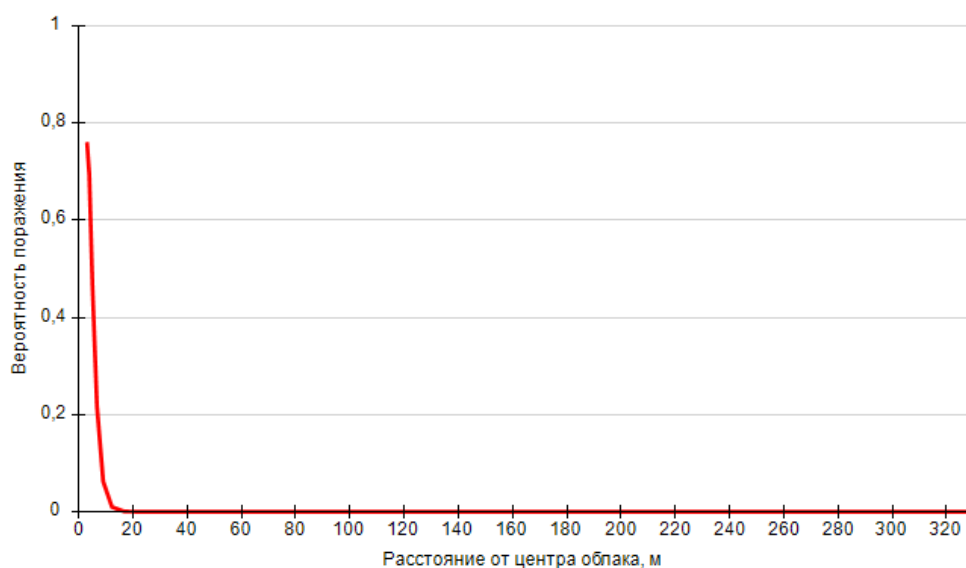
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,567 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{20,4} \right)^{9,3} = 51912703340,541.$$

Значение пробит-функции составляет:

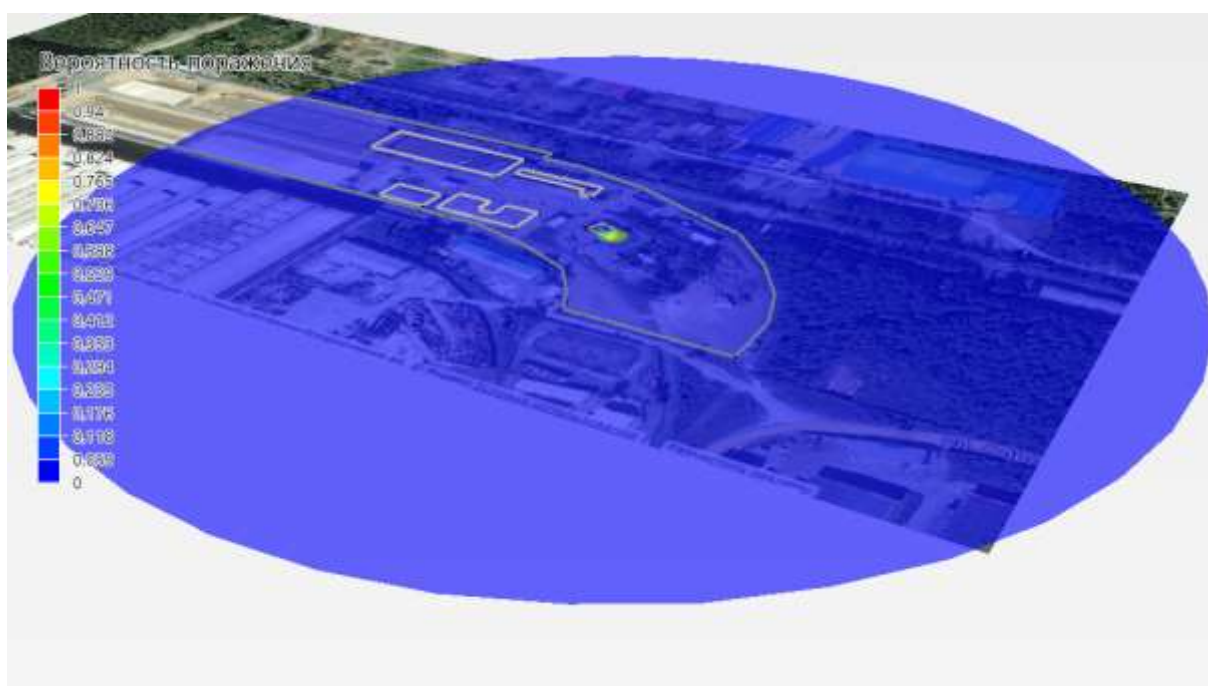
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 51912703340,541 = -1,415$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



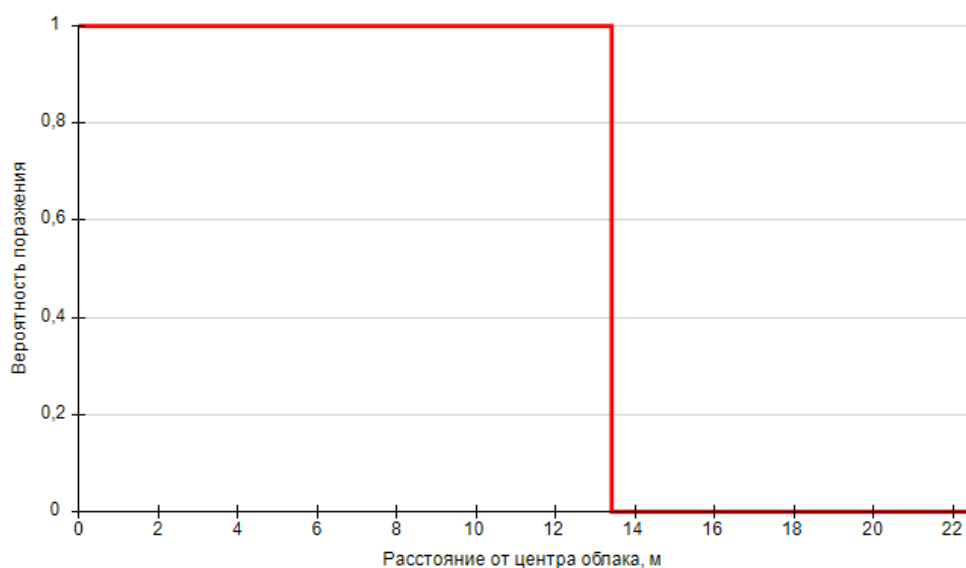
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

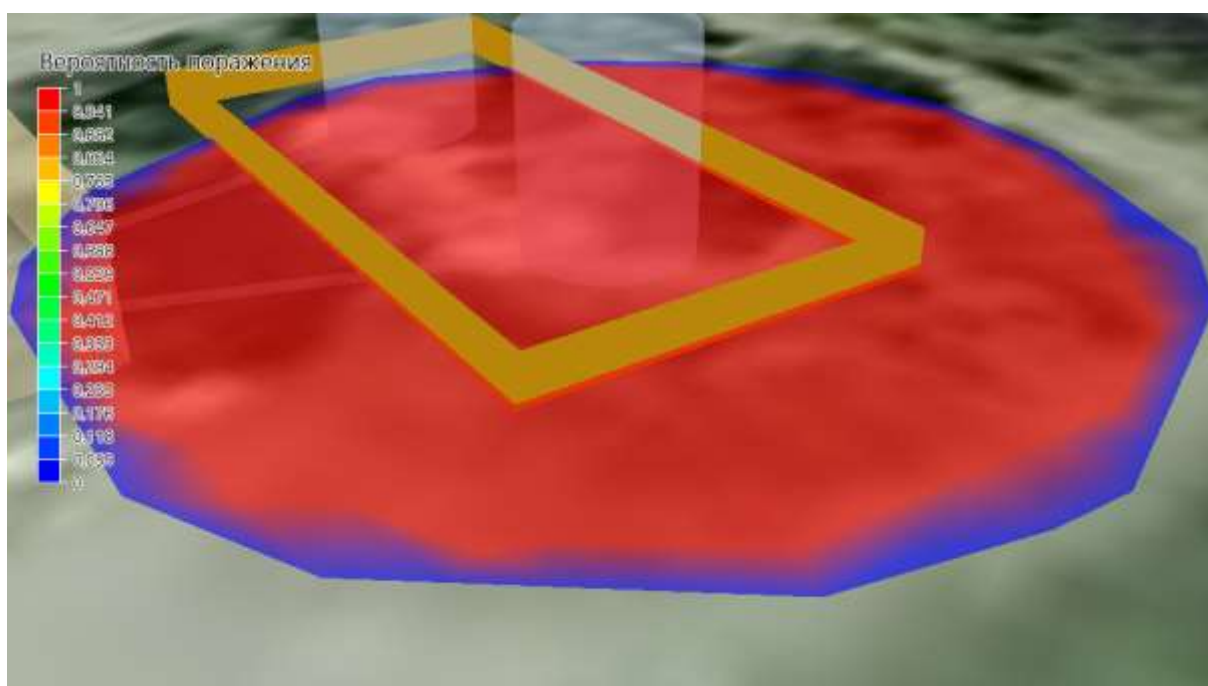
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 11,2 \text{ м} = 13,4 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $12,94 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 77 - 15,1 = 61,9 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

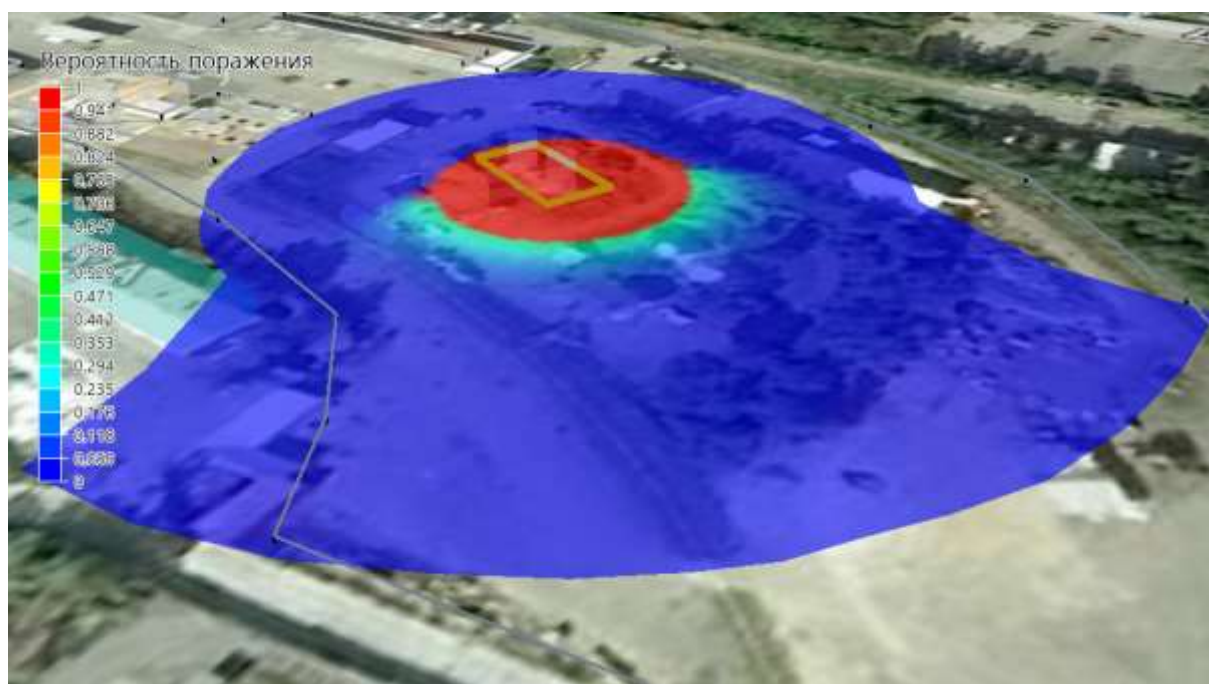
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{61,9}{5} = 17,4 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(17,4 \cdot 12,94^{4/3}) = 3,247. \end{aligned}$$

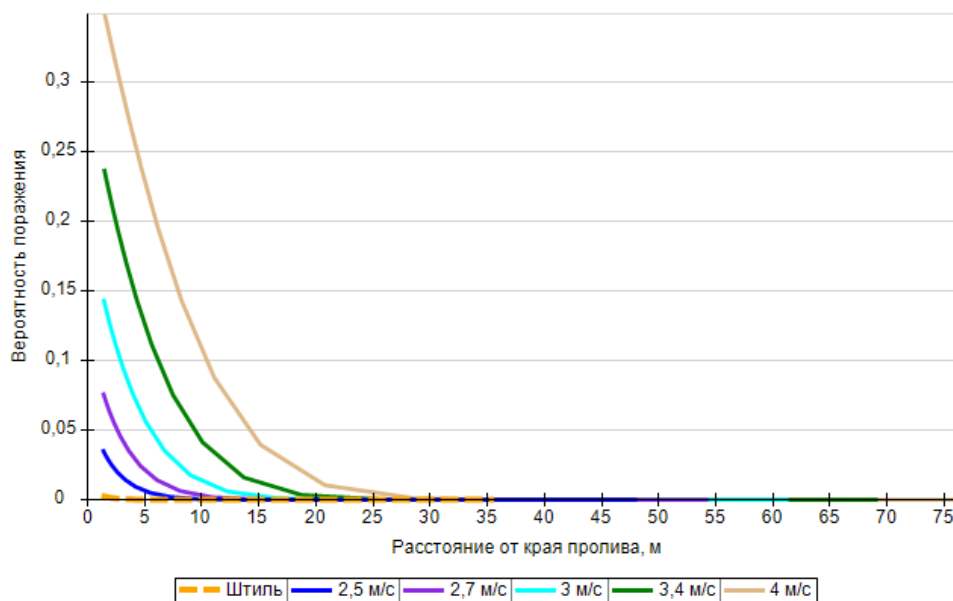
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,039625.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 102 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,572 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 33,9$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

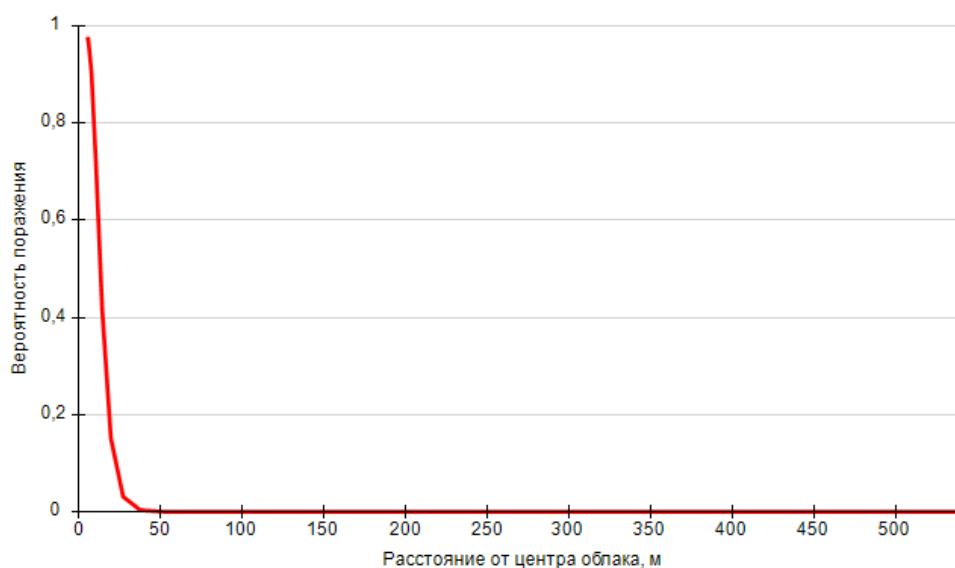
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,572 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{33,9} \right)^{9,3} = 470147336,639.$$

Значение пробит-функции составляет:

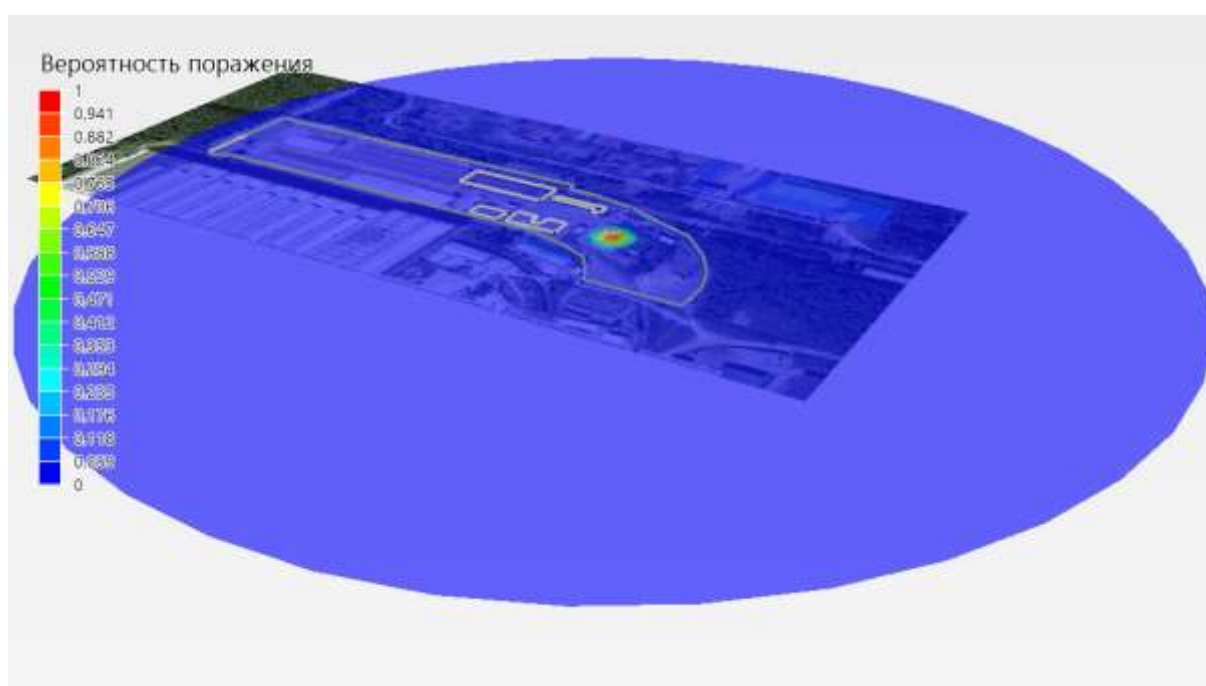
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 470147336,639 = -0,192$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



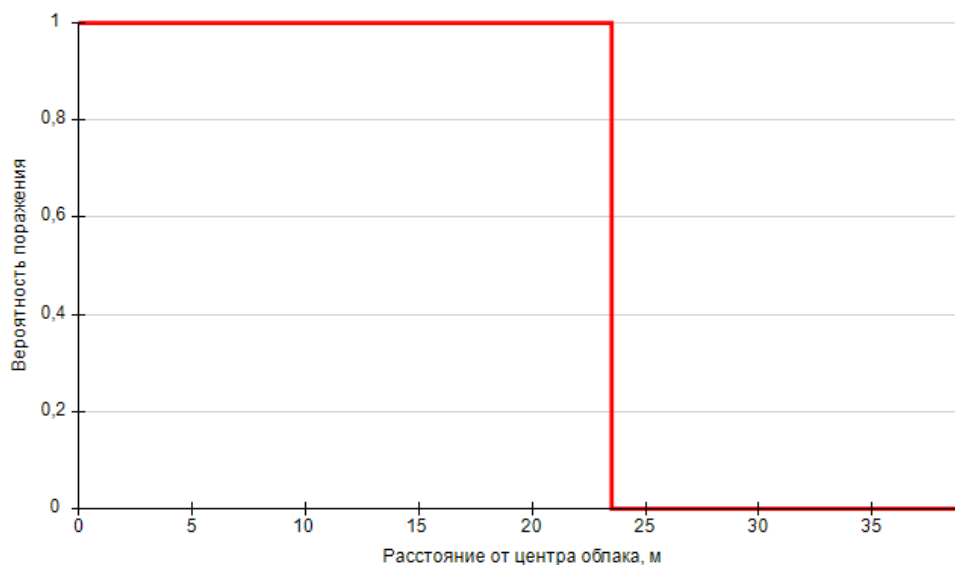
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

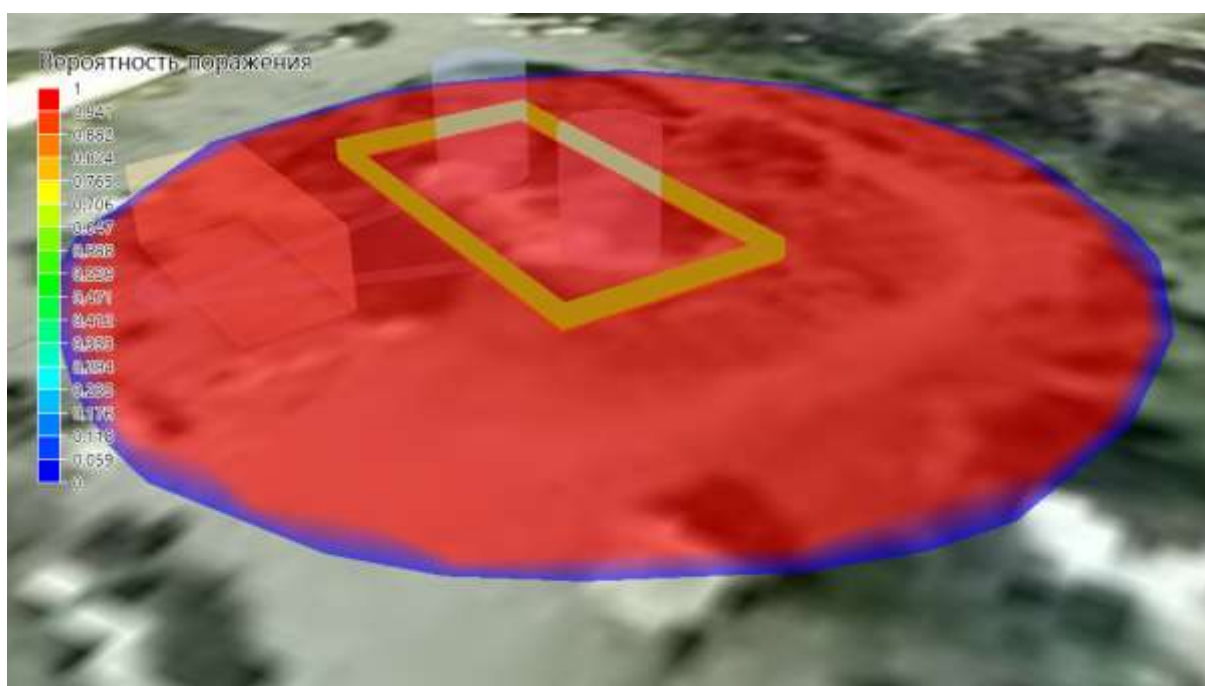
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 19,6 \text{ м} = 23,5 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.8.4. Пожар на дыхательной арматуре

Пожар на дыхательной арматуре

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 9,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек,

расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $27,78 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 48,1 - 9,8 = 38,3 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

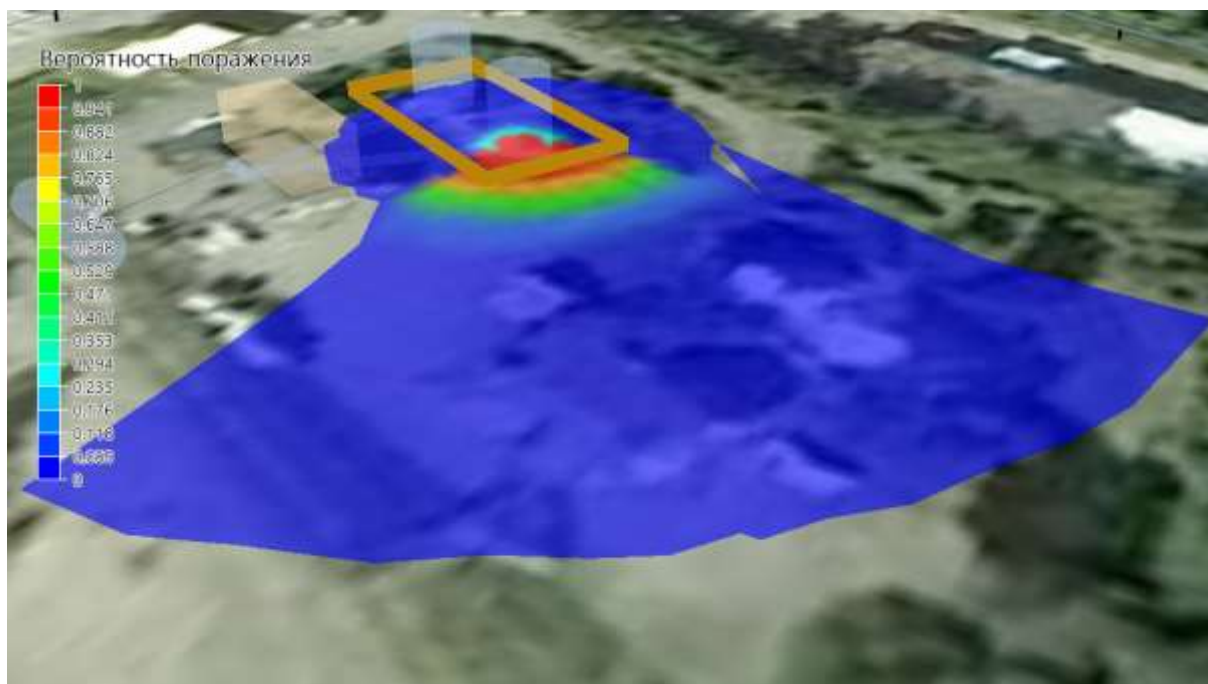
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{38,3}{5} = 12,7 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(12,7 \cdot 27,78^{4/3}) = 5,047. \end{aligned}$$

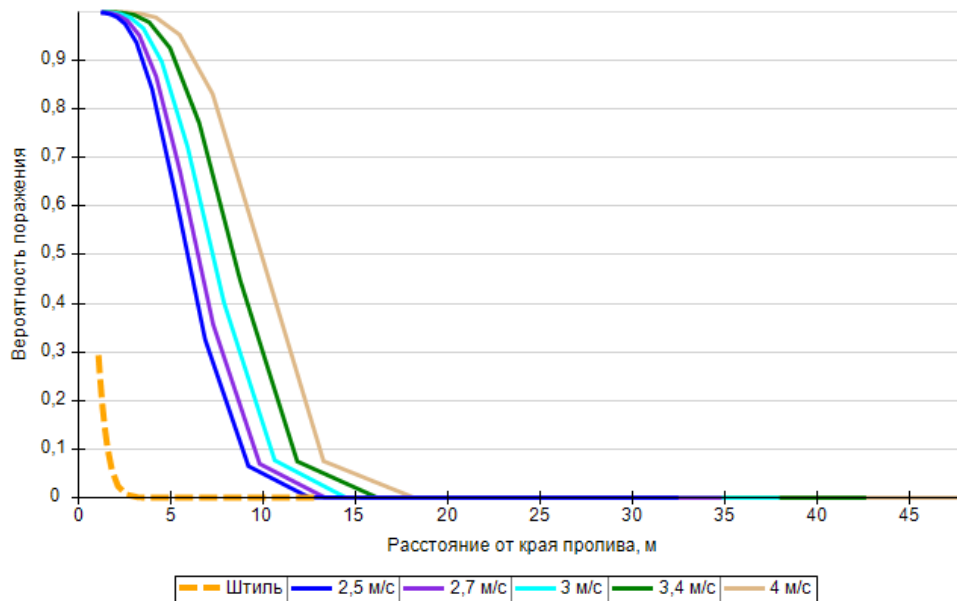
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,518781.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

6.8.5. Пожар по всей поверхности

Пожар по всей поверхности

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 11,9$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $28,51 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 59,8 - 11,9 = 47,9 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

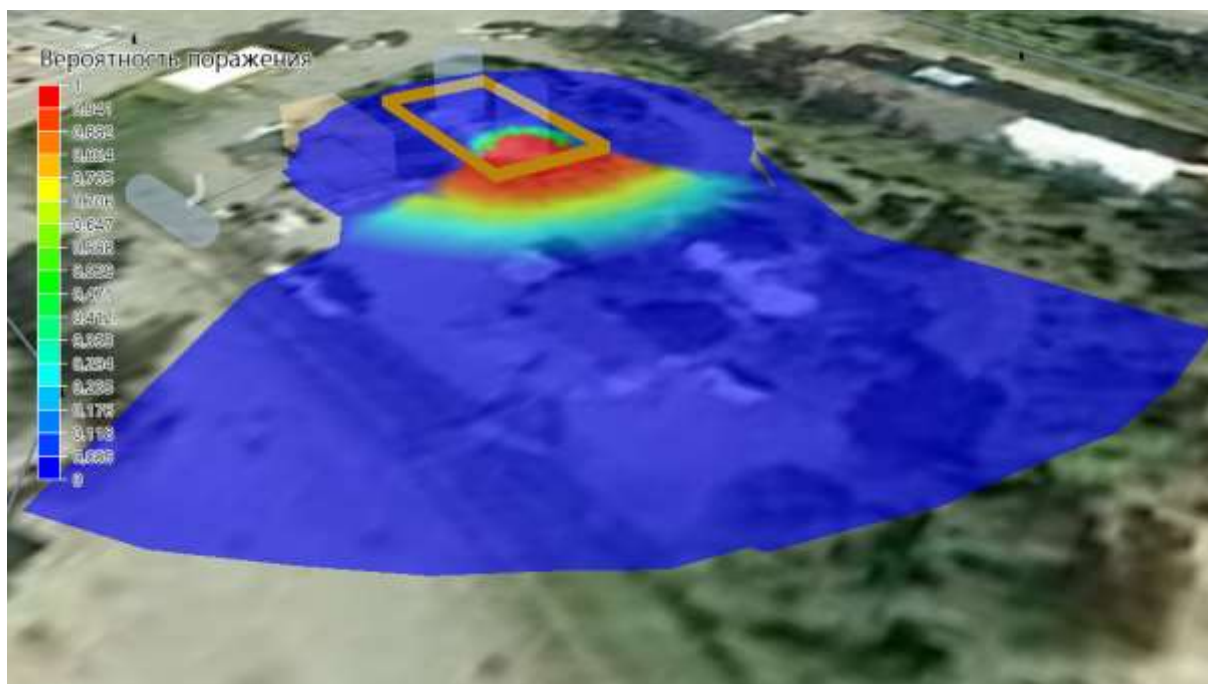
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{47,9}{5} = 14,6 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(14,6 \cdot 28,51^{4/3}) = 5,495. \end{aligned}$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,690108.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



6.9. Гибкое соединение автоцистерны

6.9.1. Разгерметизация 5 мм

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 5,8$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $24,78 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 27 - 5,8 = 21,2 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

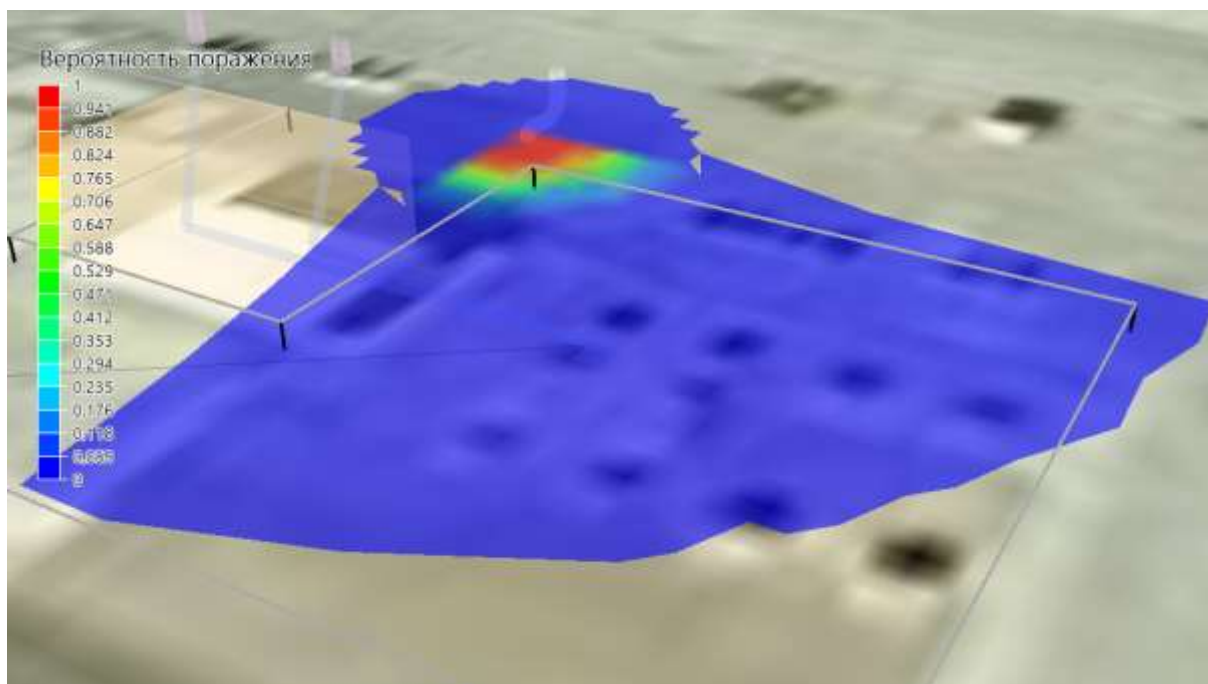
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{21,2}{5} = 9,2 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(9,2 \cdot 24,78^{4/3}) = 3,847. \end{aligned}$$

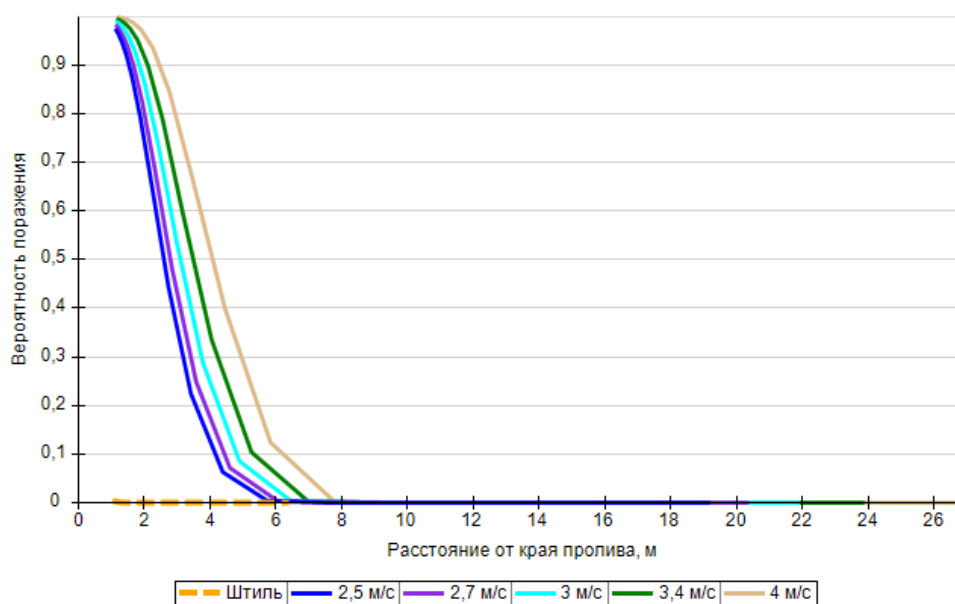
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,124139.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 9,1 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,322 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 2,5$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

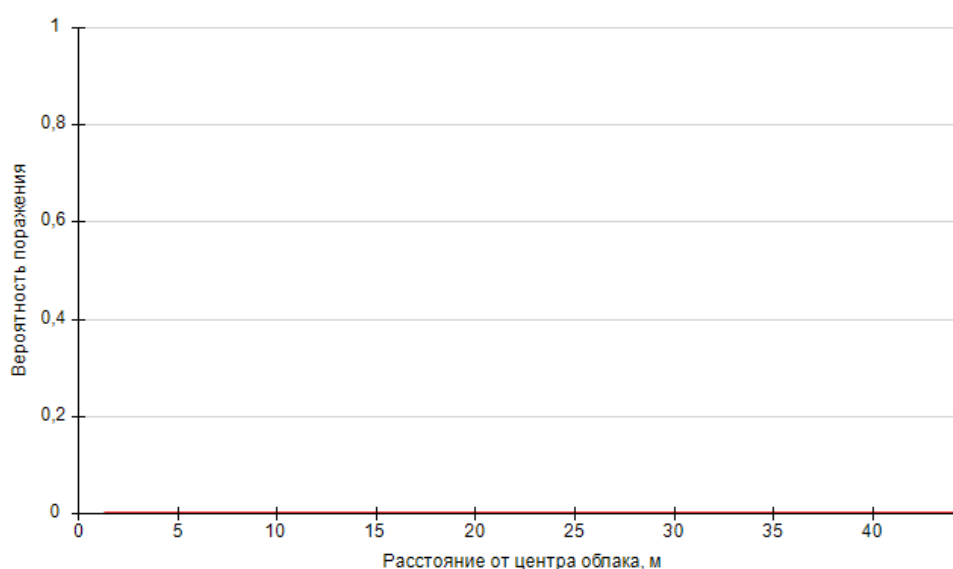
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,322 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{2,5}\right)^{9,3} = 18862656087405700000.$$

Значение пробит-функции составляет:

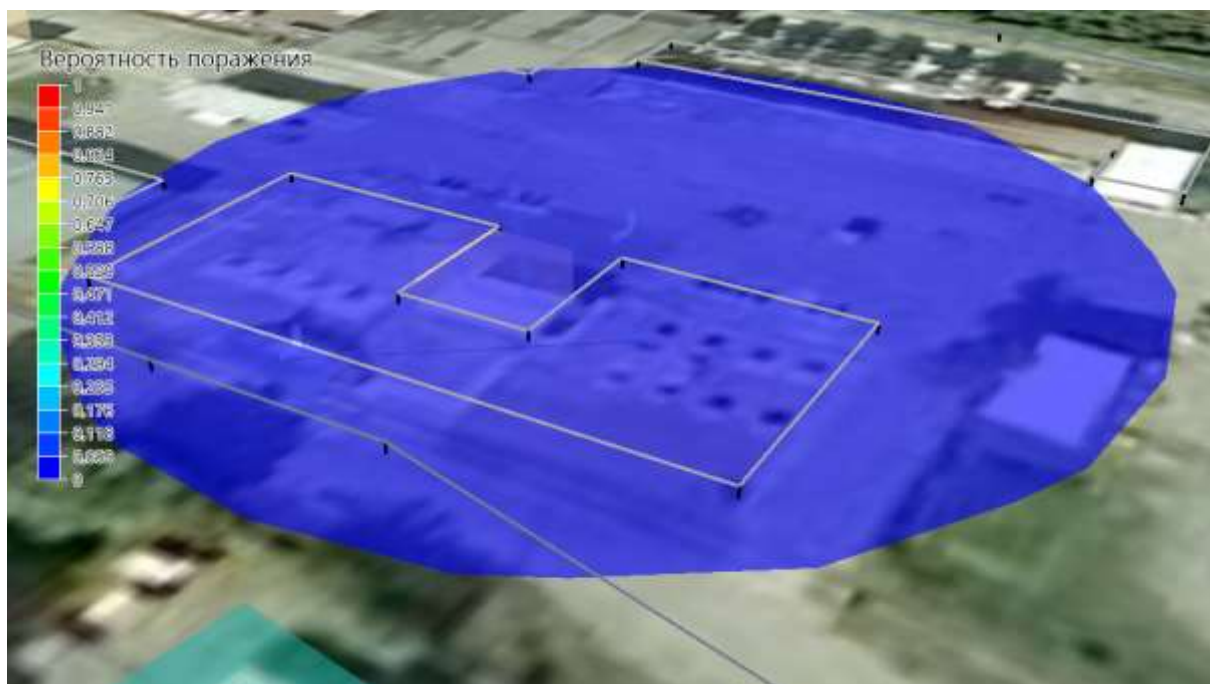
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 18862656087405700000 = -6,54$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



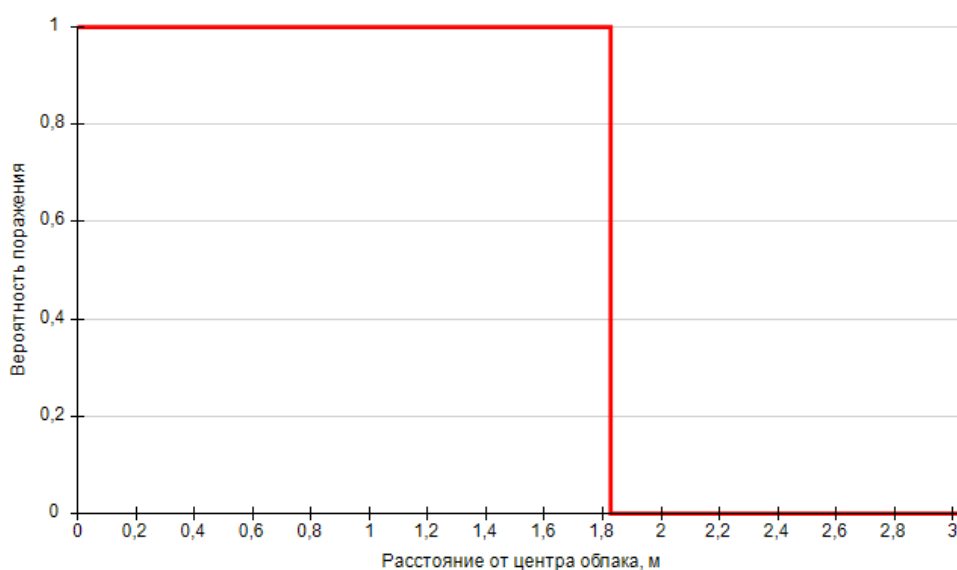
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

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.

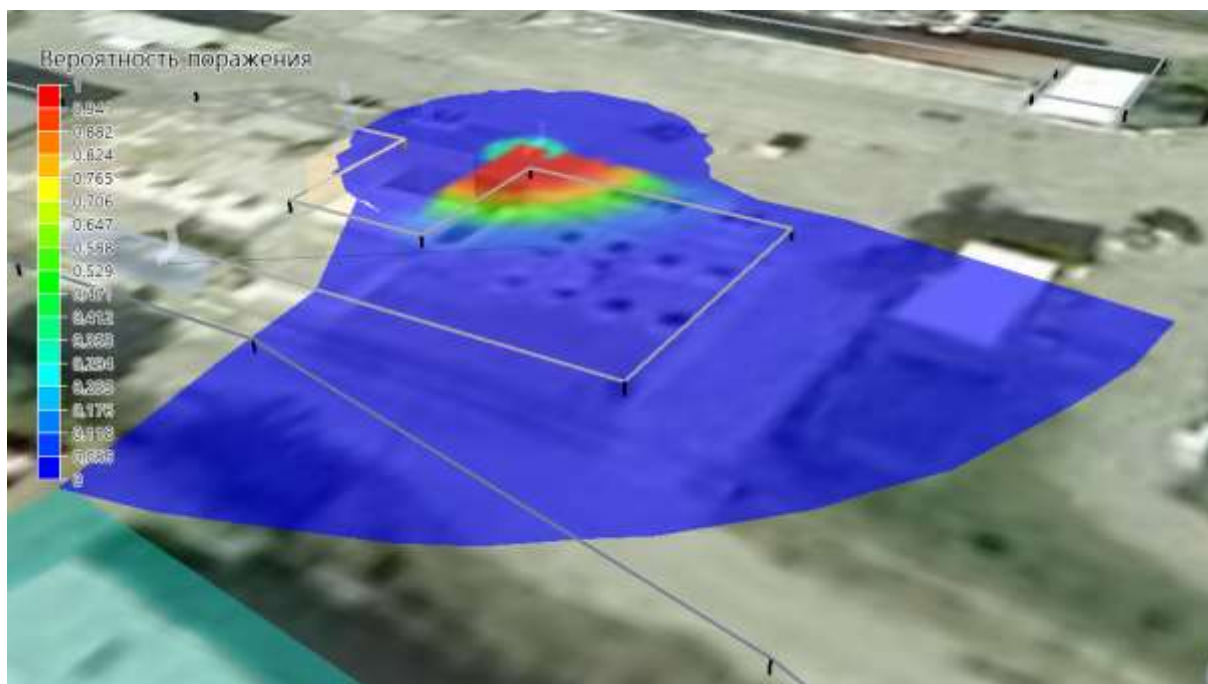
Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газопаровоздушного облака при пожаре-вспышке составляет:

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 1,5 \text{ м} = 1,8 \text{ м}.$$



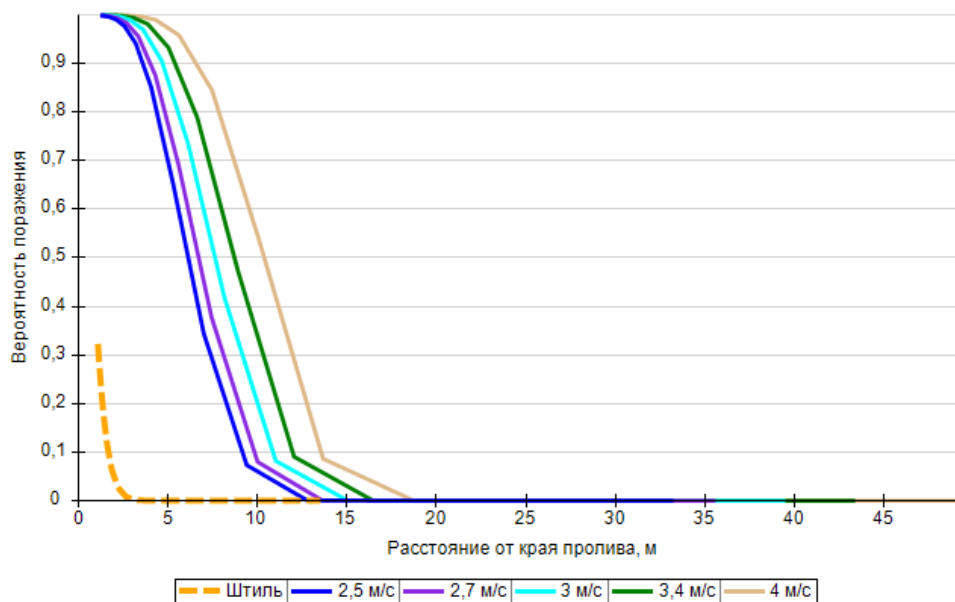
Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 17,9 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,468 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 5,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

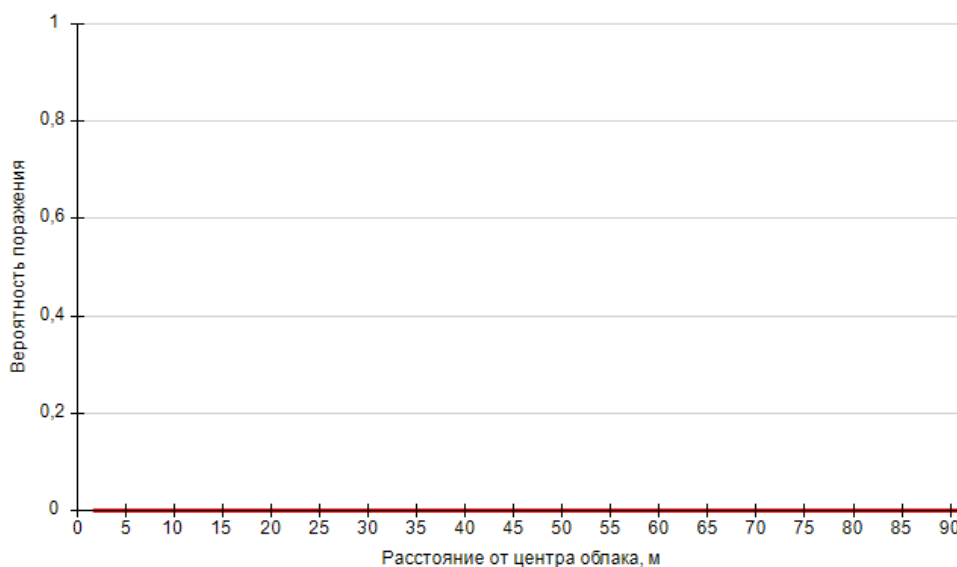
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,468 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{5,4} \right)^{9,3} = 11460423702023500.$$

Значение пробит-функции составляет:

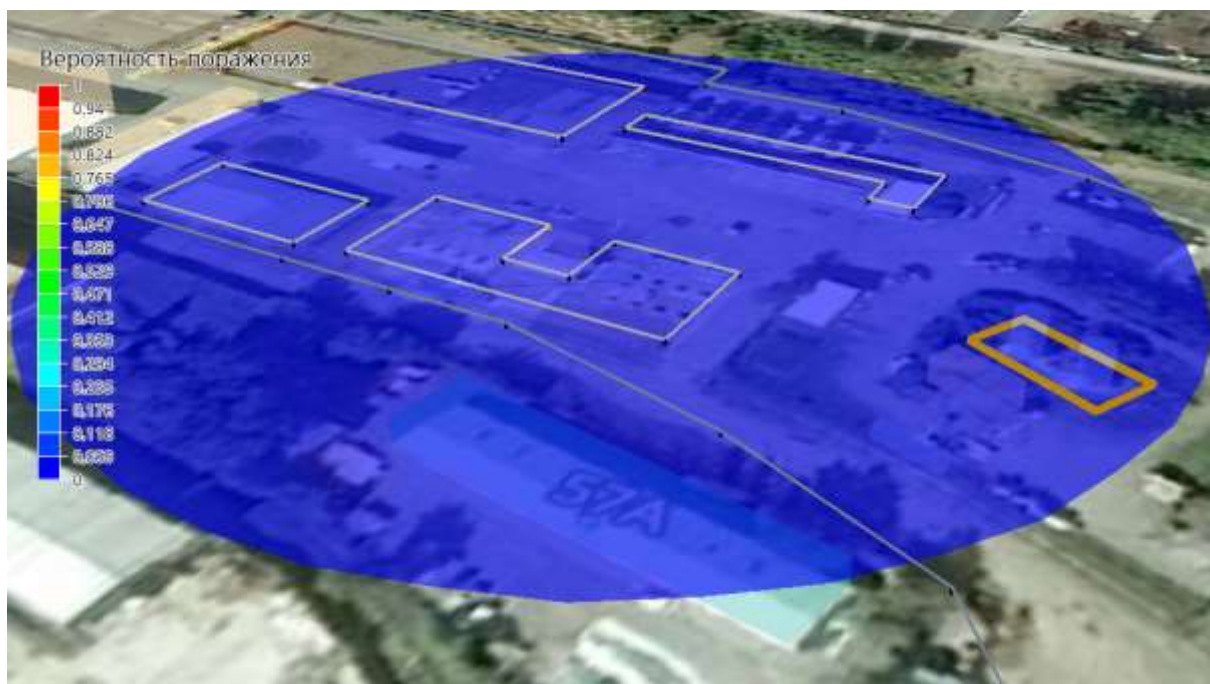
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 11460423702023500 = -4,614$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



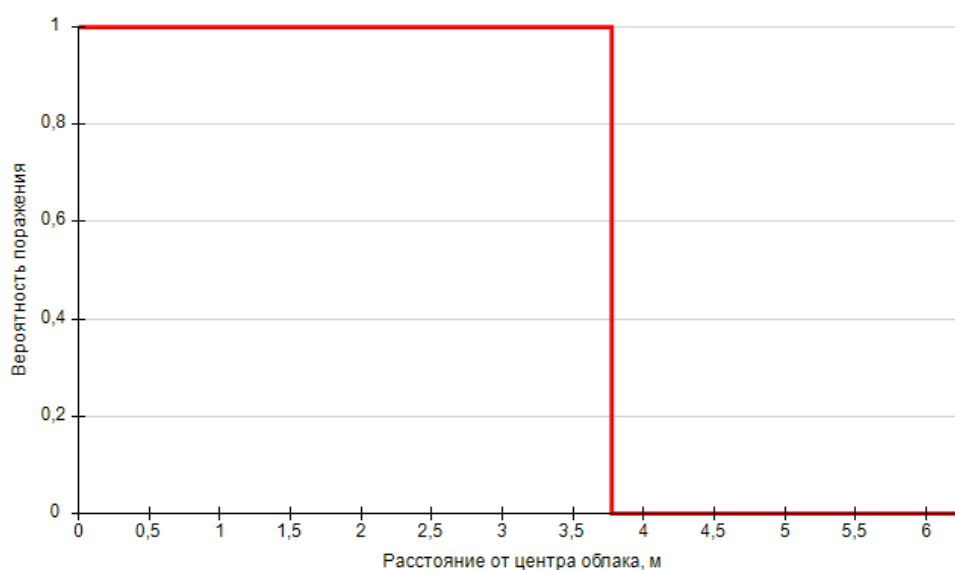
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

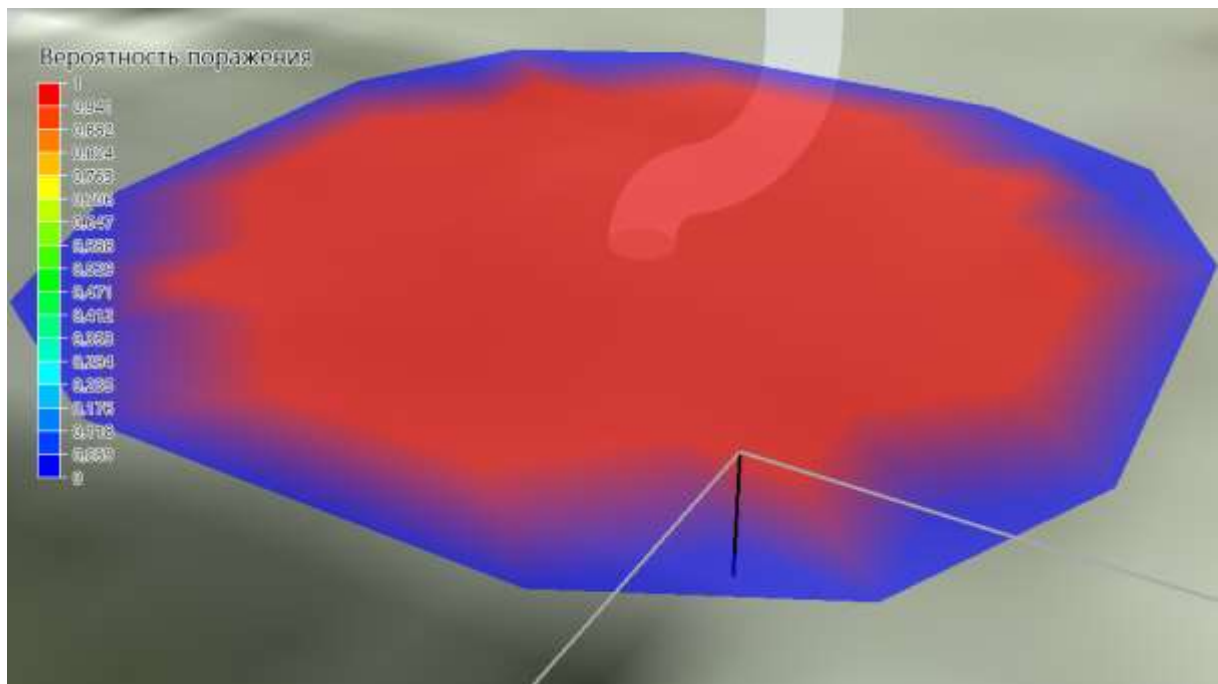
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 3,1 \text{ м} = 3,8 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

6.9.3. Разрушение

Пожар пролива

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

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r' = 13,1$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового илучения в рассматриваемой точке составляет $16,32 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет:

$$x = r_4 - r' = 66,1 - 13,1 = 53 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

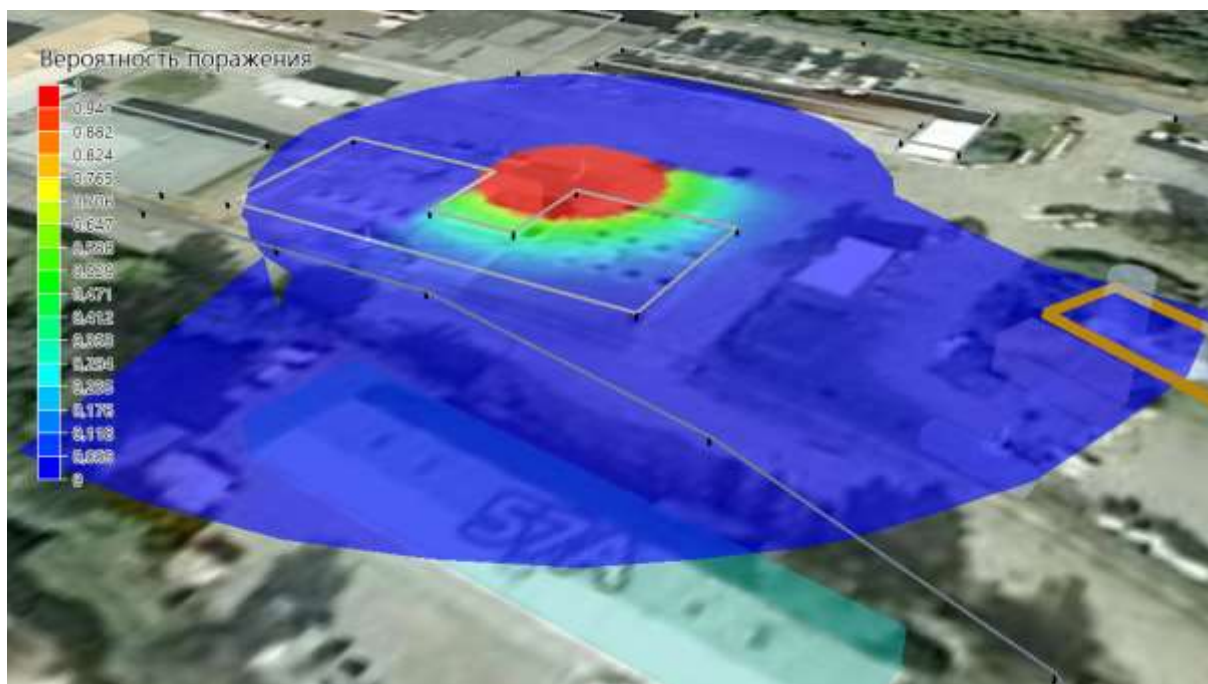
$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{53}{5} = 15,6 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$\begin{aligned} Pr &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = \\ &= -12,8 + 2,56 \cdot \ln(15,6 \cdot 16,32^{4/3}) = 3,764. \end{aligned}$$

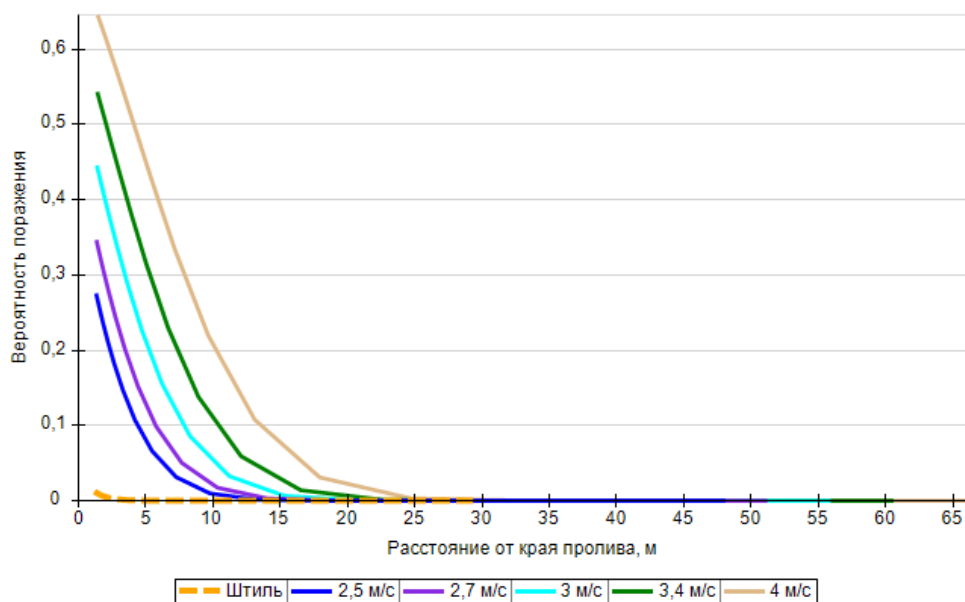
Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке составляет 0,107814.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара).



Поле величин условной вероятности поражения человека тепловым излучением

На графике ниже представлены зависимости условной вероятности поражения человека от расстояния от края пролива (пожара) при всех заданных вариантах силы ветра.



Варианты значений условной вероятности поражения при различной силе ветра

Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 70,1 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2,578 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 23,4$ Па · с.

Величина параметра V составляет:

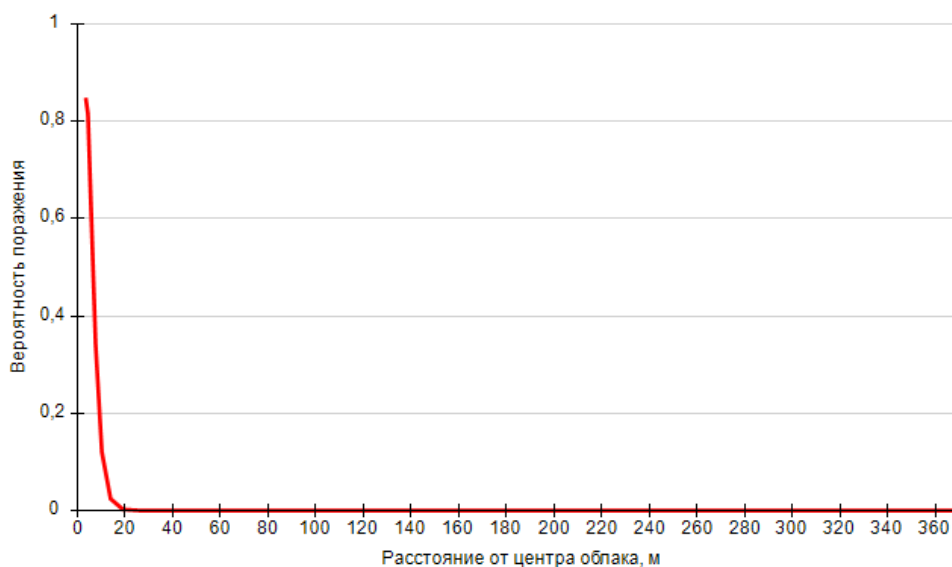
$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2,578 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{23,4} \right)^{9,3} = 14586878299,114.$$

Значение пробит-функции составляет:

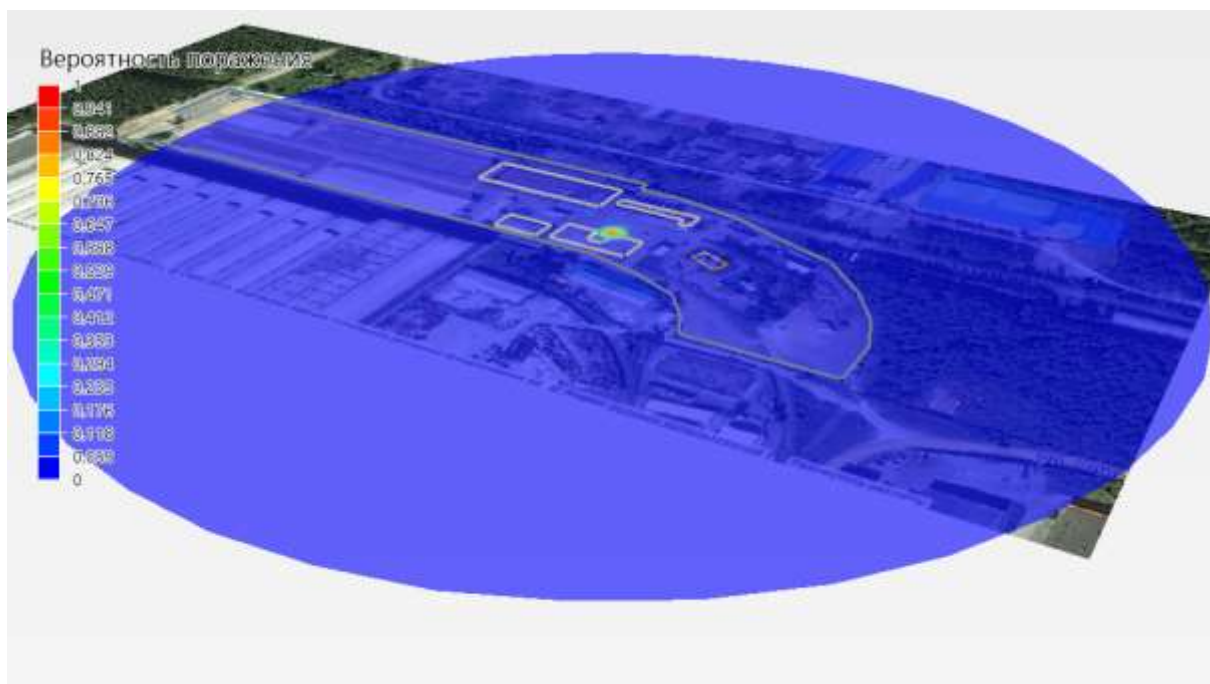
$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln V = 5 - 0,26 \cdot \ln 14586878299,114 = -1,085$$

Значение пробит-функции не выше нуля, следовательно, условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке принимается равной нулю.

Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. Результаты приведены на графике.



Условная вероятность поражения человека волной давления



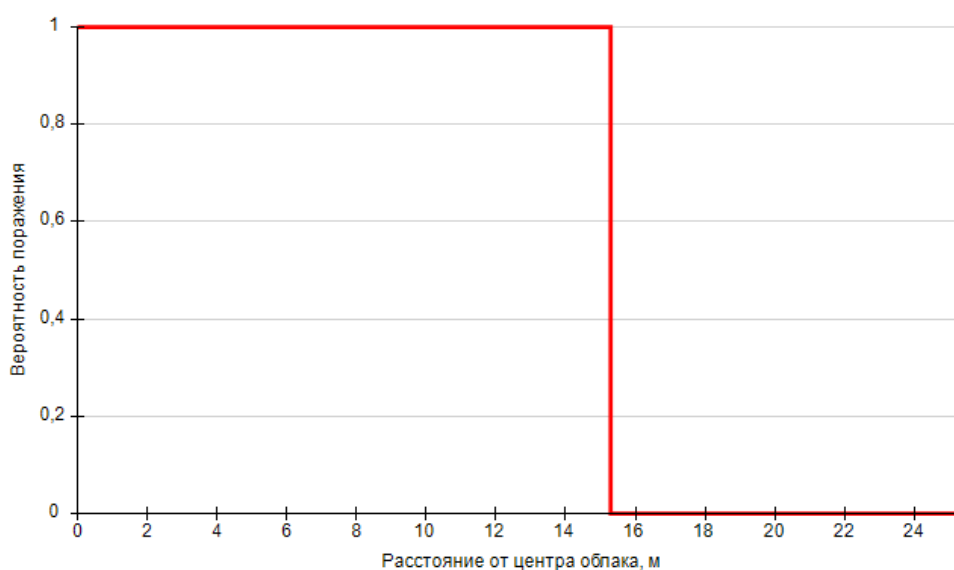
Поле условной вероятности поражения человека волной давления

Пожар-вспышка

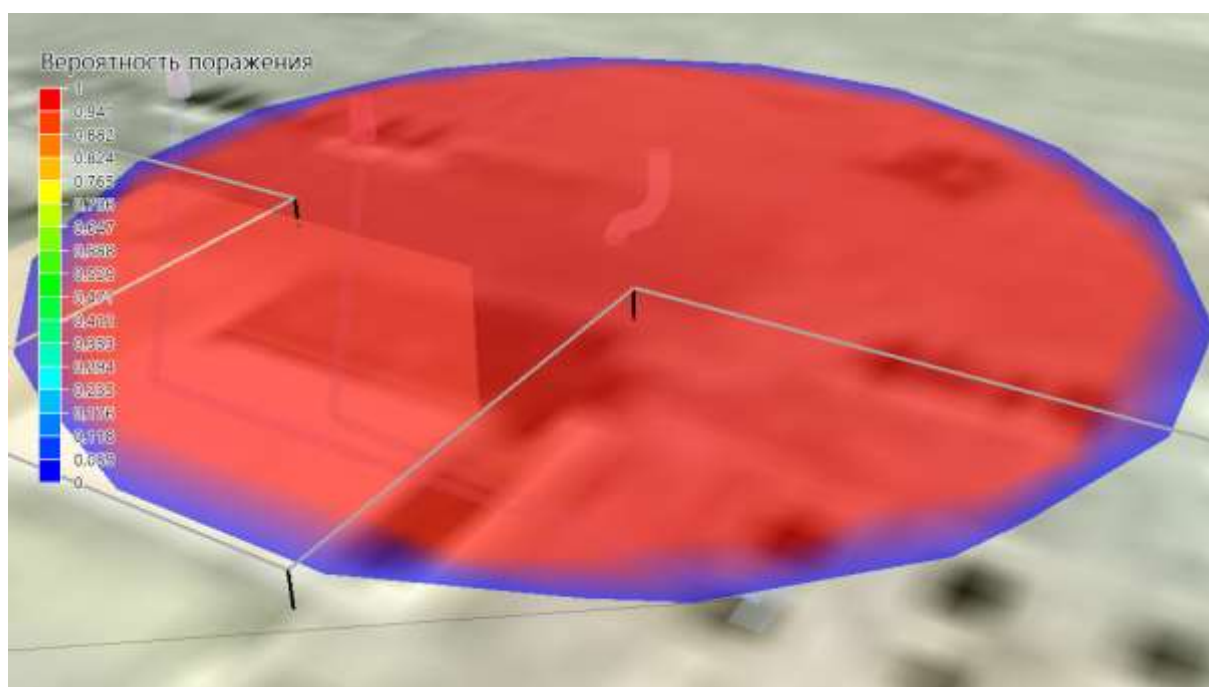
Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 12,7 \text{ м} = 15,3 \text{ м}.$$



Условная вероятность поражения человека при пожаре-вспышке



Поле величин условной вероятности поражения человека при пожаре-вспышке

7. Вычисление расчетных величин пожарного риска

7.1. Потенциальный риск на территории объекта и в селитебной зоне

7.1.1. Потенциальный риск от оборудования объекта

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

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

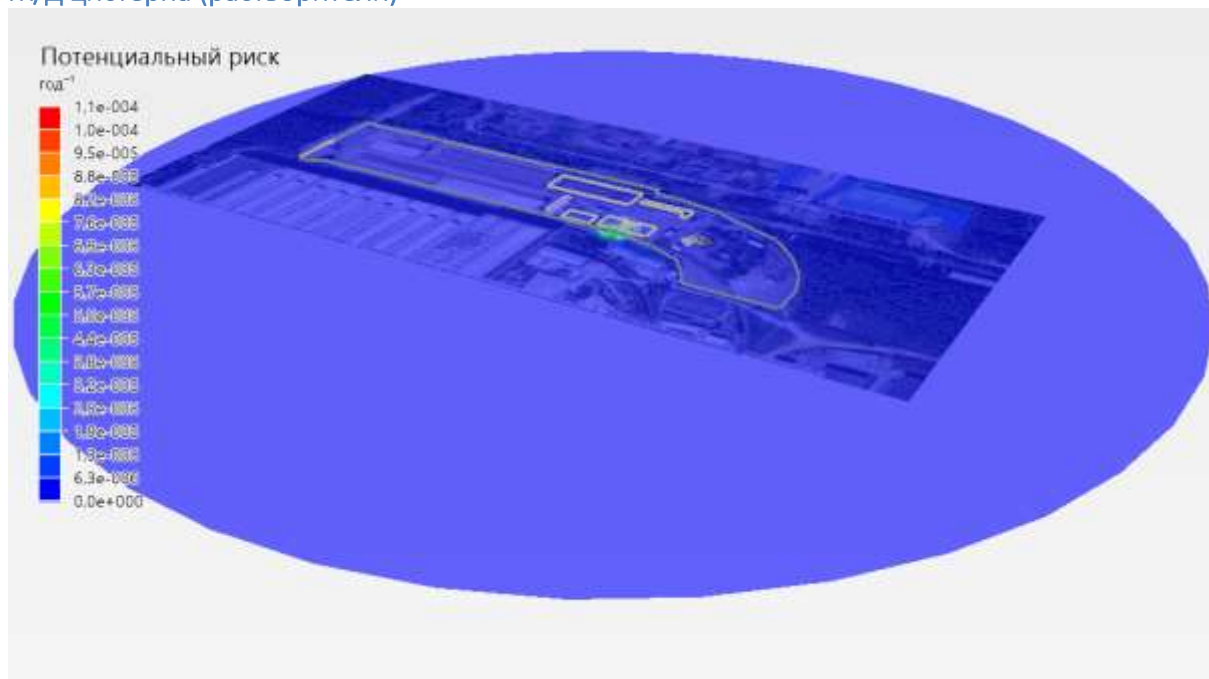
где J — число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

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

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

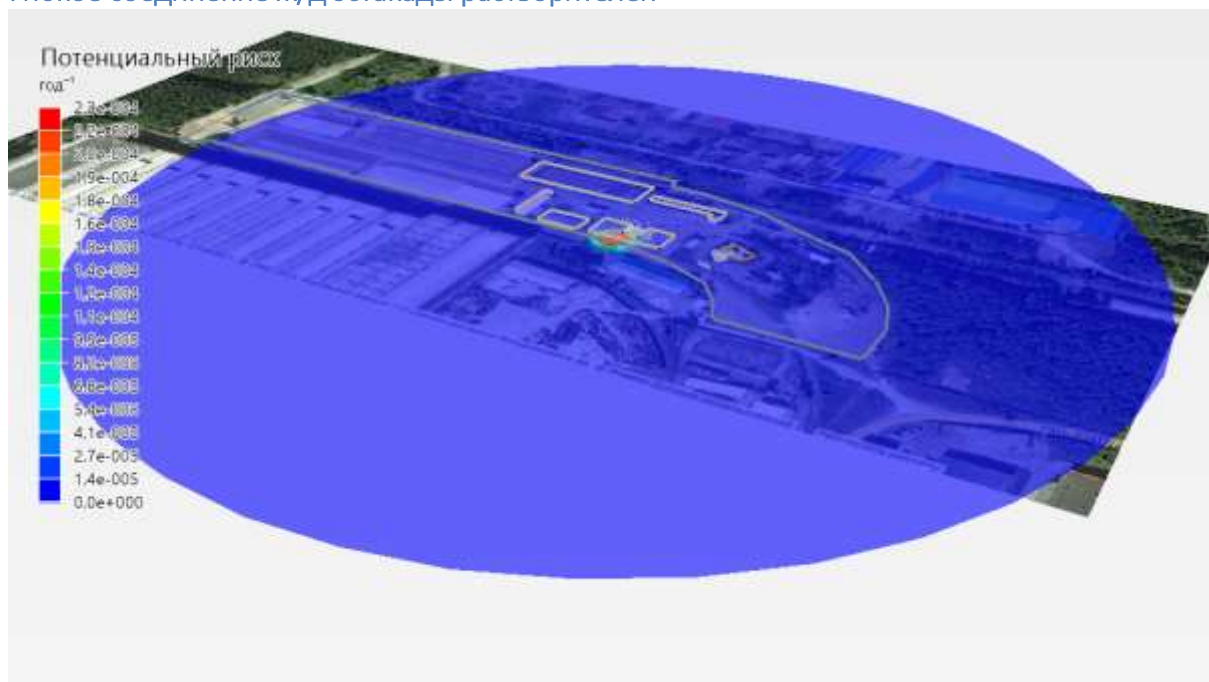
Ниже приведены поля потенциального пожарного риска, обусловленного возникновением пожароопасных ситуаций в оборудовании объекта.

Ж/д цистерна (растворители)



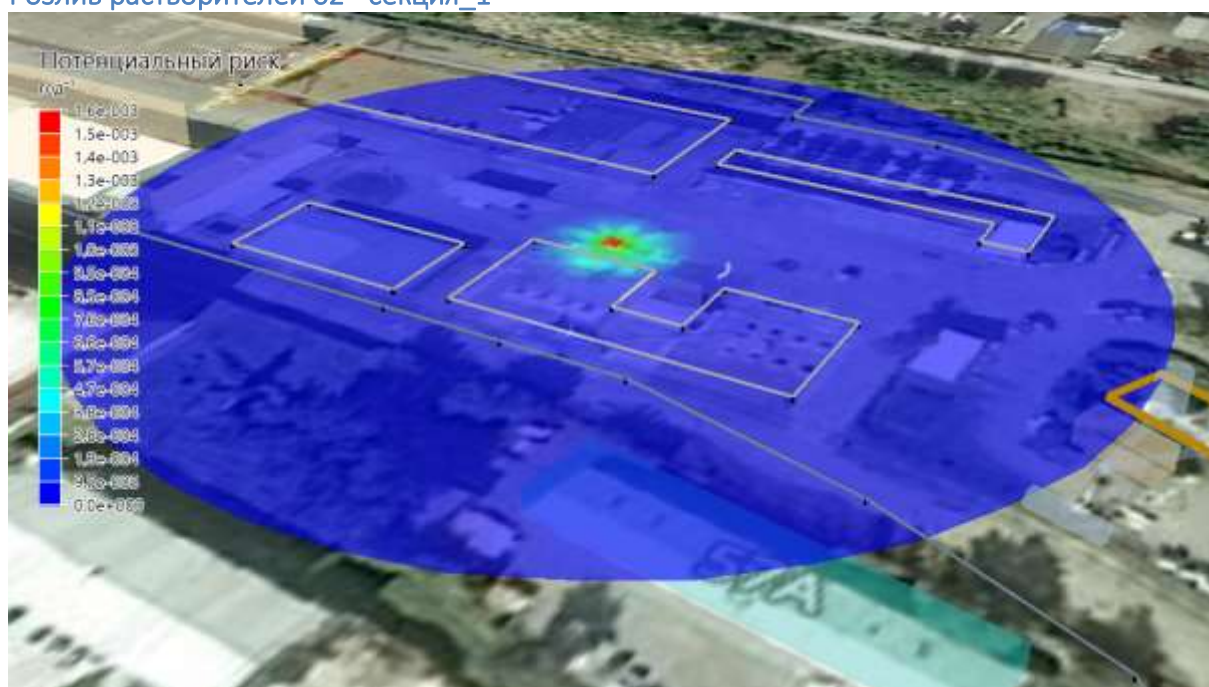
Поле потенциального пожарного риска (Ж/д цистерна (растворители))

Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей



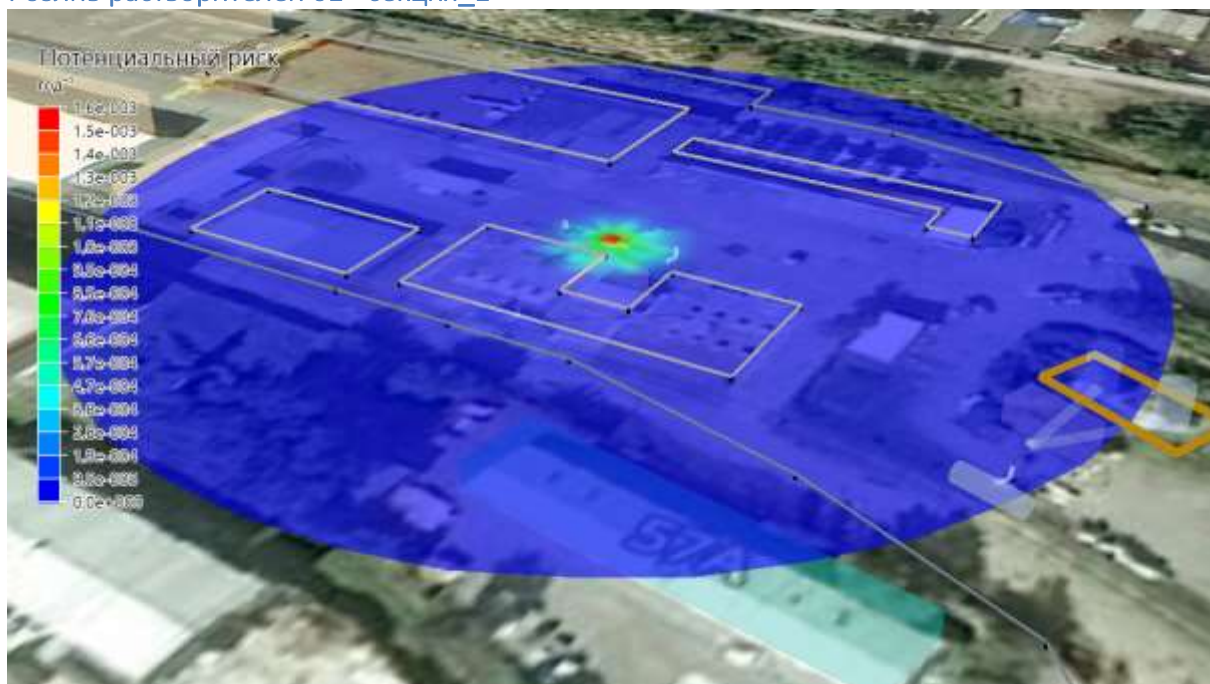
Поле потенциального пожарного риска (Гибкое соединение ж/д эстакады растворителей)

Розлив растворителей 02 - секция_1



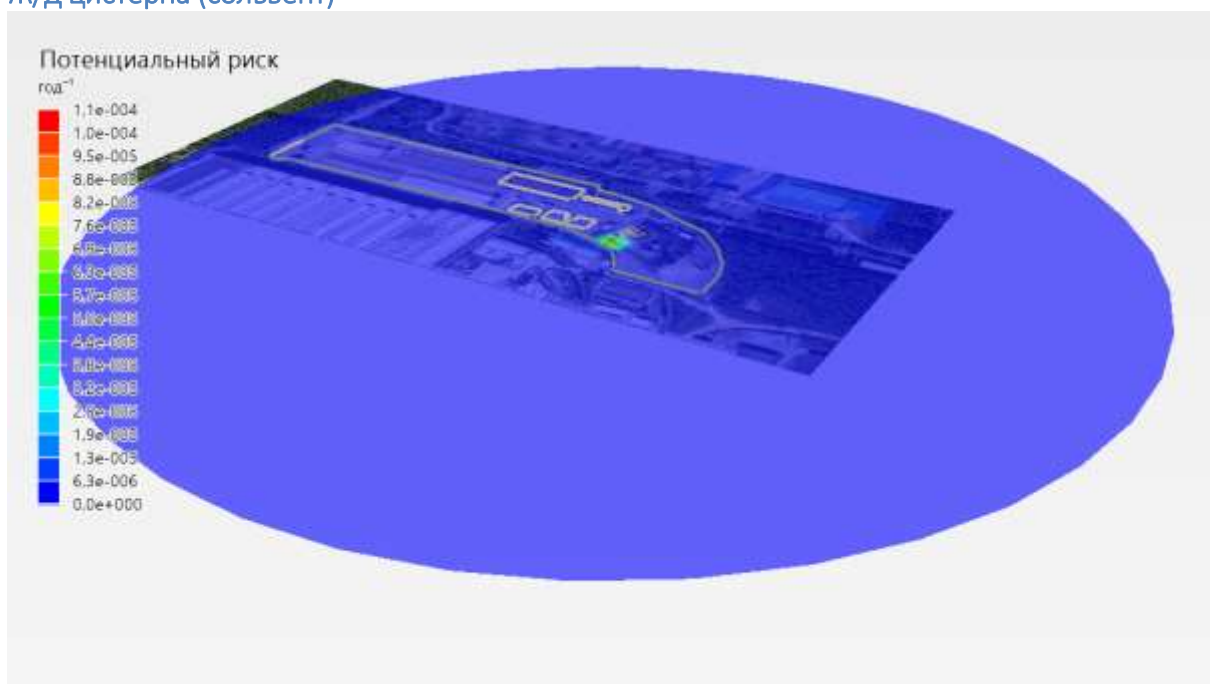
Поле потенциального пожарного риска (Розлив растворителей 02 - секция_1)

Розлив растворителей 01 - секция_1



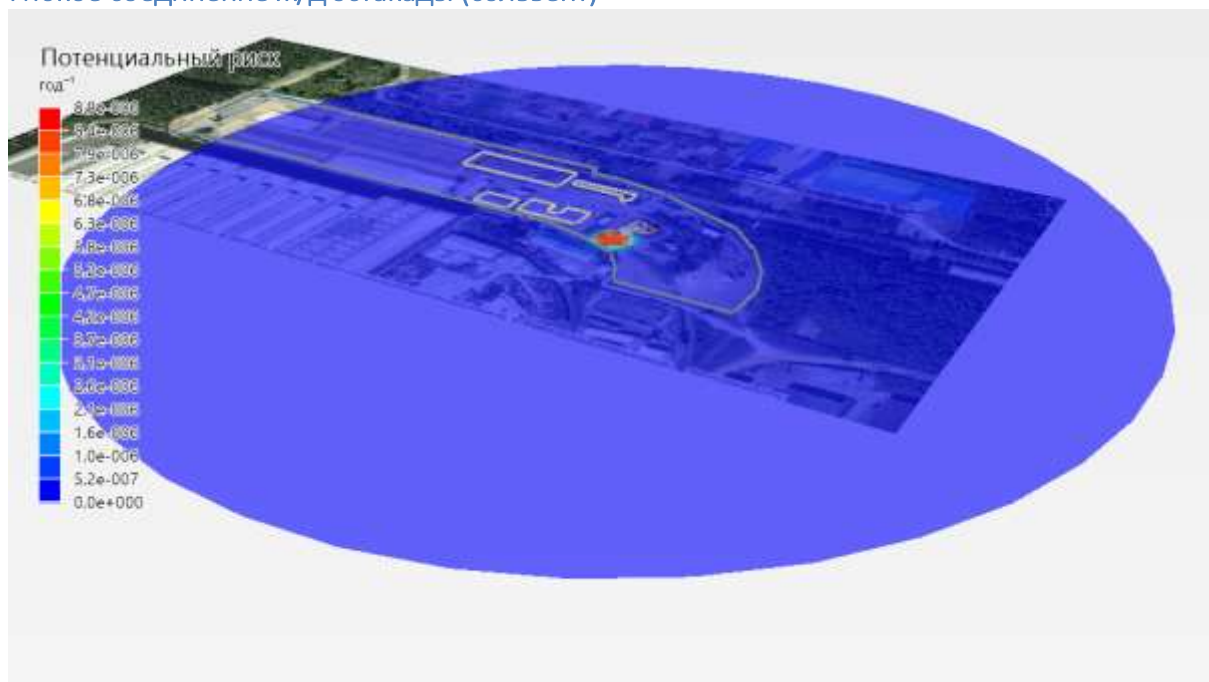
Поле потенциального пожарного риска (Розлив растворителей 01 - секция_1)

Ж/д цистерна (сольвент)



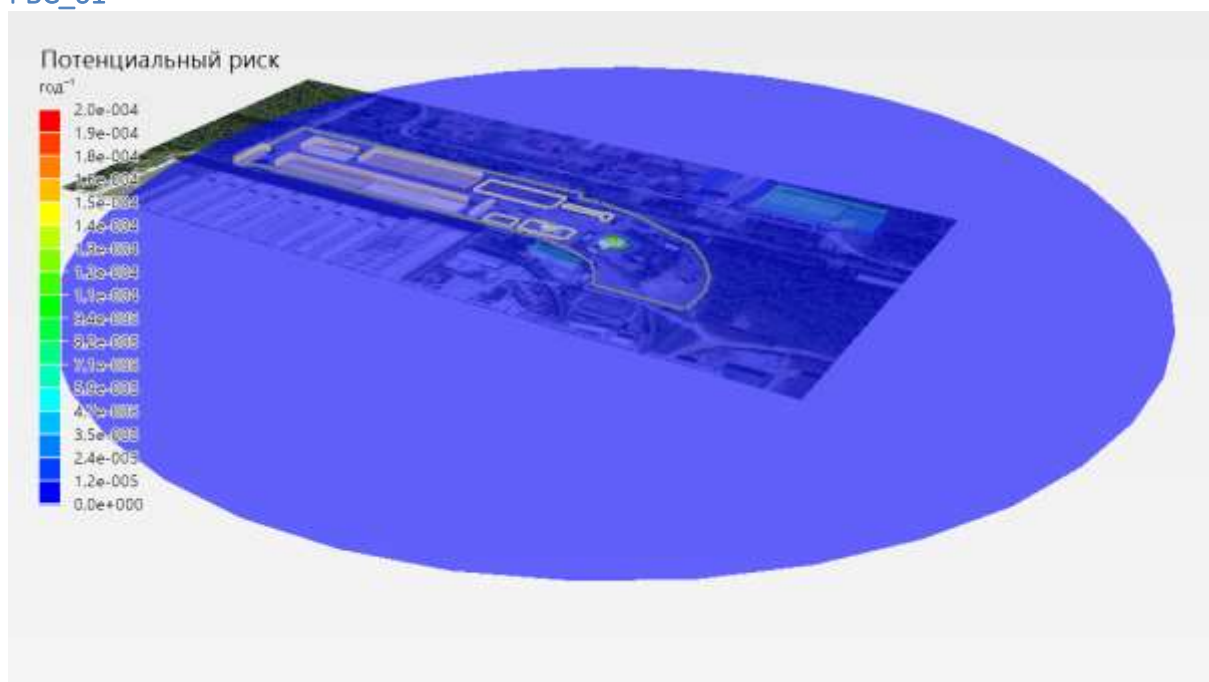
Поле потенциального пожарного риска (Ж/д цистерна (сольвент))

Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент)



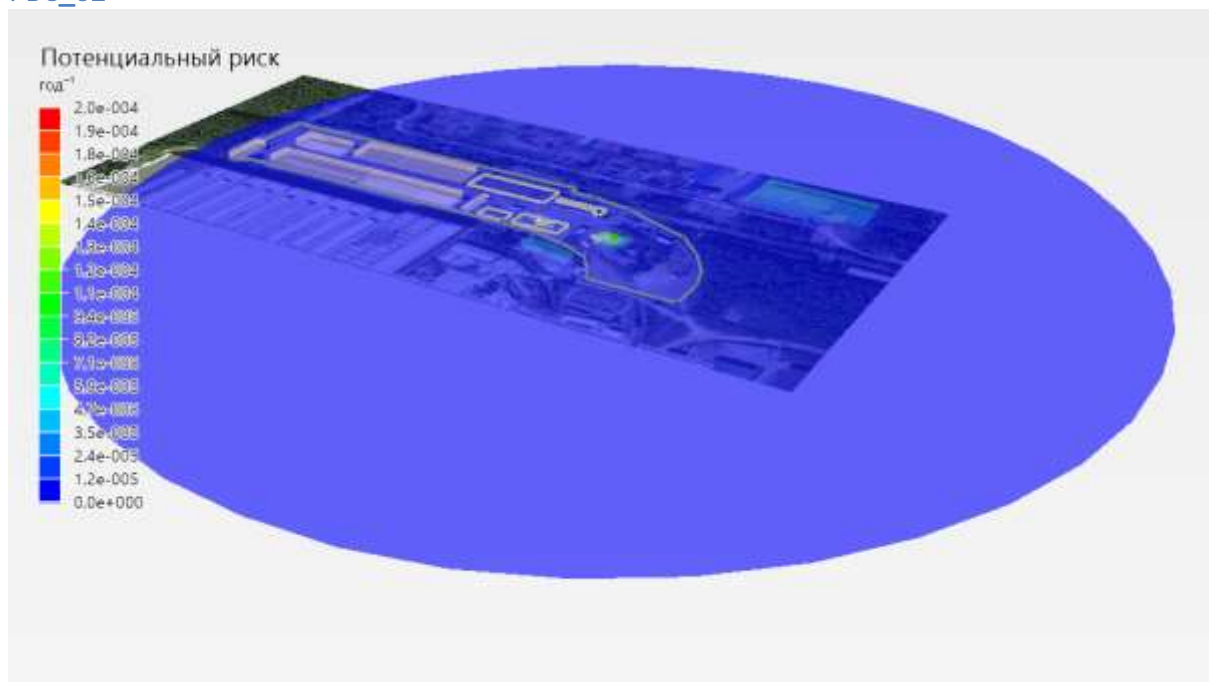
Поле потенциального пожарного риска (Гибкое соединение ж/д эстакады (сольвент))

PBC_01



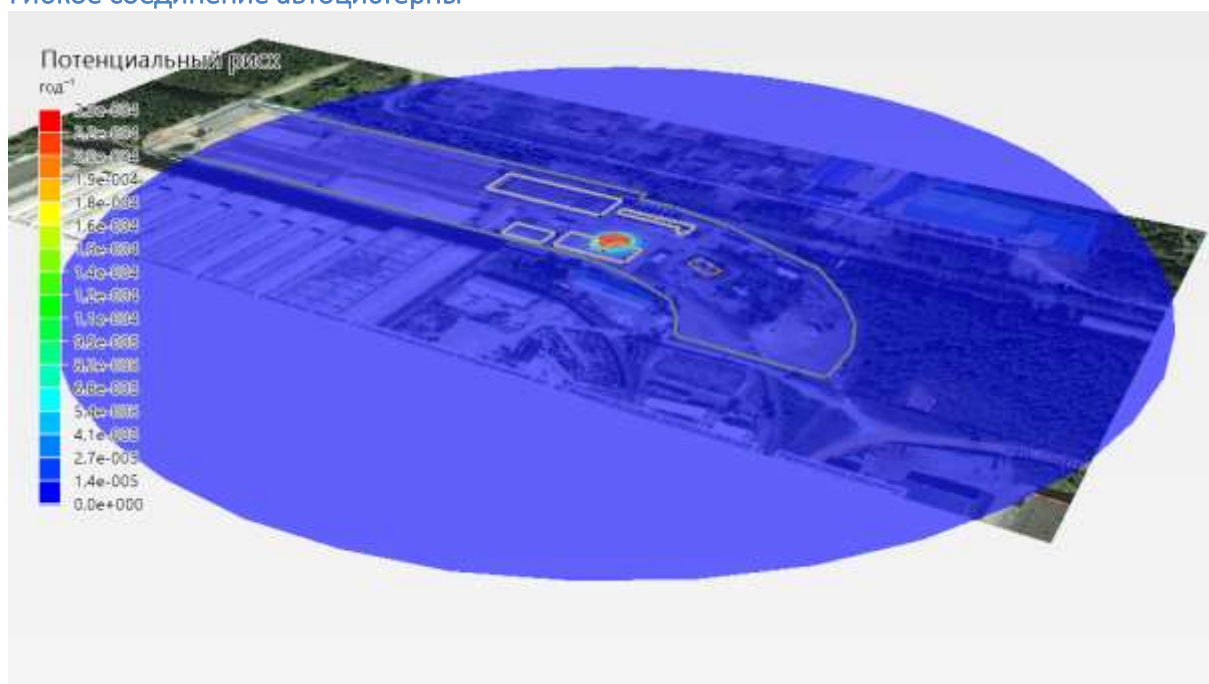
Поле потенциального пожарного риска (PBC_01)

PBC_02



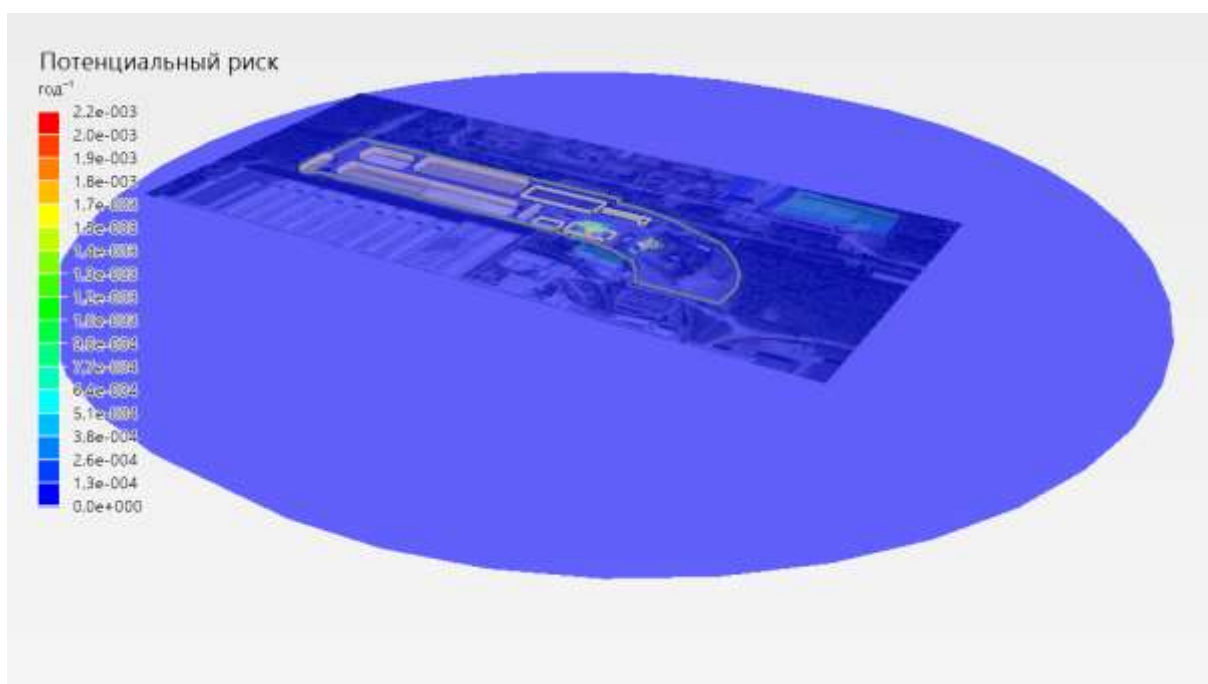
Поле потенциального пожарного риска (PBC_02)

Гибкое соединение автоцистерны



Поле потенциального пожарного риска (Гибкое соединение автоцистерны)

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

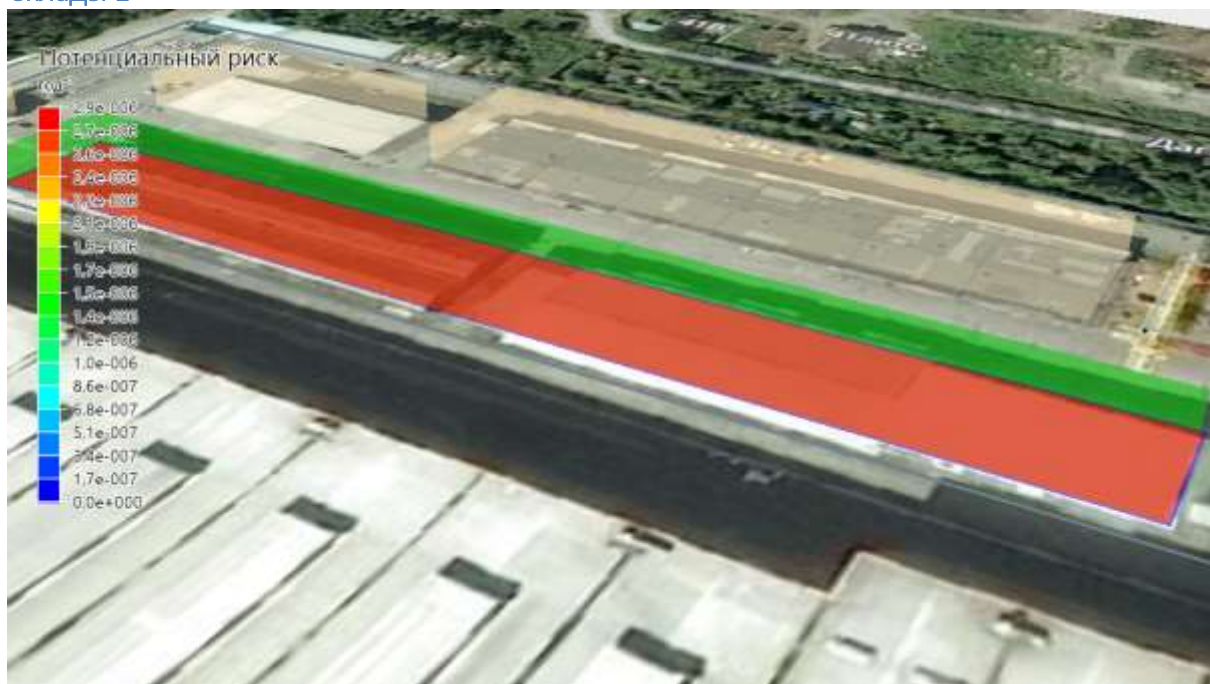
7.1.2. Потенциальный пожарный риск в зданиях объекта

Потенциальный пожарный риск в зданиях объекта представлен в таблице.

Потенциальный пожарный риск в зданиях объекта

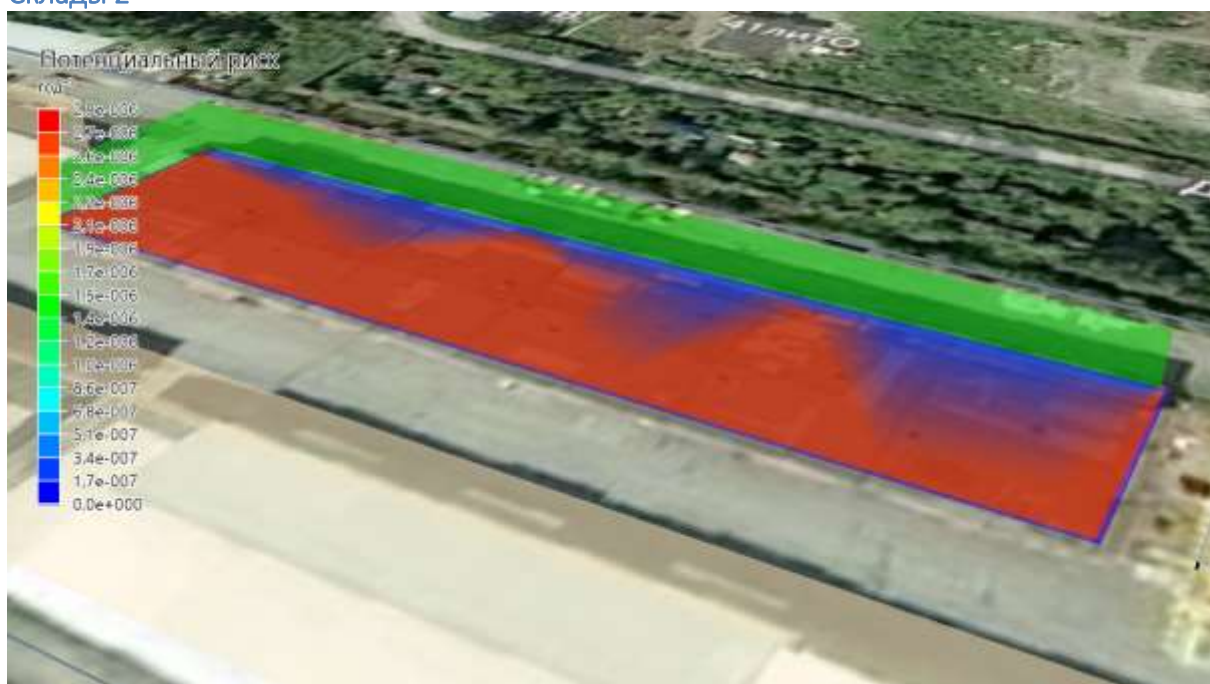
Здание	$P, \text{год}^{-1}$
Склады 1	$2,91 \cdot 10^{-6}$
Склады 2	$2,91 \cdot 10^{-6}$
Склад негорючих материалов	0
АБК	0
Насосная склада растворителей	0
Насосная резервуаров сольвента	0
Ангар	0

Склады 1



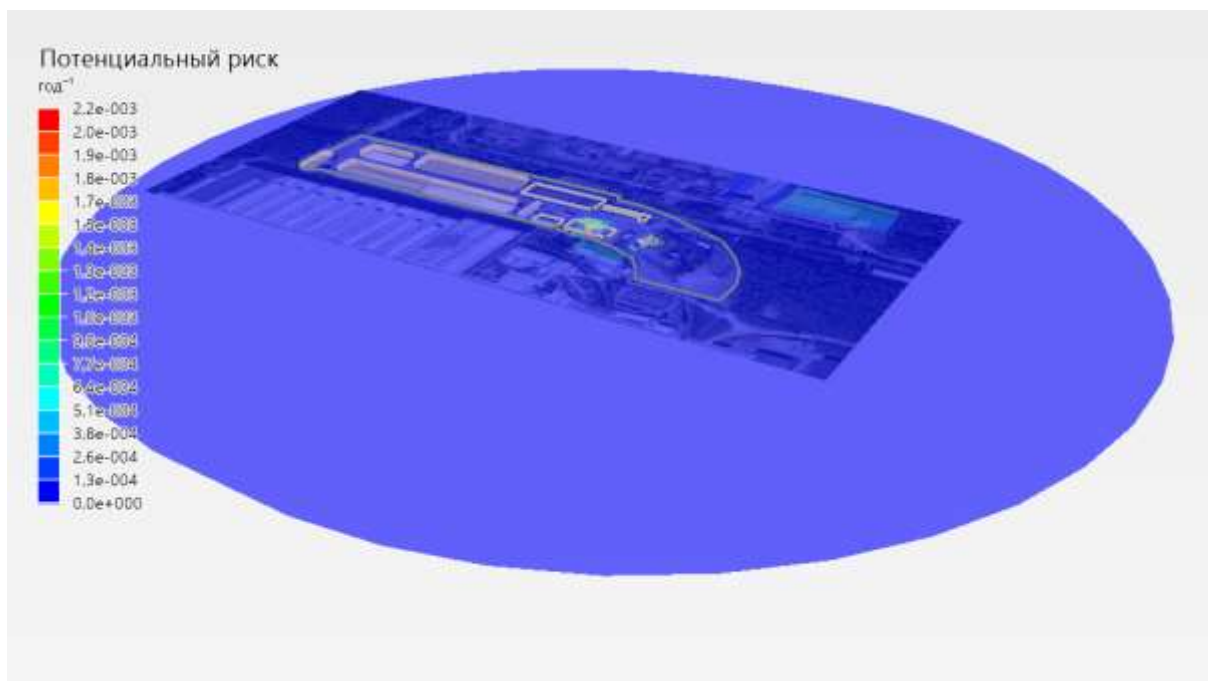
Потенциальный пожарный риск в здании "Склады 1"

Склады 2



Потенциальный пожарный риск в здании "Склады 2"

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



Поле суммарного потенциального пожарного риска

7.2. Индивидуальный пожарный риск

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

Вероятность нахождения людей

Категория людей	Группа людей	Здание, область территории	q_{im}
Персонал объекта	Работники складов 1	Граница объекта	0,22557
		Склады 1	0,19737
		АБК	0,0282
	Работники складов 2	Граница объекта	0,22557
		Склады 2	0,19737
		АБК	0,0282
	Работники АБК	Граница объекта	0,22557
		АБК	0,22557
	Работники склада негорючих материалов	Граница объекта	0,22557
		Склад негорючих материалов	0,19737
		АБК	0,0282
	Работники стройплощадки	Граница объекта	0,22557
		Стройплощадка	0,22557

Работники отпуска кислот и растворителей	Граница объекта	0,22557
	Рампа склада кислот	0,14098
	АБК	0,0282
	Склад растворителей	0,05639
Население		
Население в здании ул. ..., 41	Граница объекта	0
Население в здании ул. ..., 57А	Граница объекта	0

7.2.1. Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта

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

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

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

Группа людей	Здание, область территории объекта	q_{im}	$P(i)$ (мин. ... макс.), год ⁻¹	$R_m(i)$, год ⁻¹
Работники складов 1				
	Склады 1	0,19737	$2,91 \cdot 10^{-6} \dots 2,91 \cdot 10^{-6}$	$5,744 \cdot 10^{-7}$
	АБК	0,0282	0 ... 0	0
			Итого: $R_m =$	$5,744 \cdot 10^{-7}$
Работники складов 2				
	Склады 2	0,19737	$2,91 \cdot 10^{-6} \dots 2,91 \cdot 10^{-6}$	$5,744 \cdot 10^{-7}$
	АБК	0,0282	0 ... 0	0
			Итого: $R_m =$	$5,744 \cdot 10^{-7}$
Работники АБК				
	АБК	0,22557	0 ... 0	0
			Итого: $R_m =$	0
Работники склада негорючих материалов				
	Склад негорючих материалов	0,19737	0 ... 0	0
	АБК	0,0282	0 ... 0	0

Группа людей	Здание, область территории объекта	q_{im}	$P(i)$ (мин. ... макс.), год ⁻¹	$R_m(i)$, год ⁻¹
			Итого: $R_m =$	0
Работники стройплощадки				
	Стройплощадка	0,22557	$0 \dots 6,728 \cdot 10^{-11}$	$3,224 \cdot 10^{-13}$
			Итого: $R_m =$	$3,224 \cdot 10^{-13}$
Работники отпуска кислот и растворителей				
	Рампа склада кислот	0,14098	$8,395 \cdot 10^{-14} \dots 2,652 \cdot 10^{-9}$	$2,537 \cdot 10^{-11}$
	АБК	0,0282	$0 \dots 0$	0
	Склад растворителей	0,05639	$1,243 \cdot 10^{-6} \dots 9,915 \cdot 10^{-4}$	$7,099 \cdot 10^{-6}$
			Итого: $R_m =$	$7,099 \cdot 10^{-6}$

7.2.2. Индивидуальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта

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

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

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

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

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

Результаты расчетов приведены в таблице.

Расчет индивидуального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта

Группа людей	Здание, область территории объекта	q_{im}	$P(i)$ (мин. ... макс.), год ⁻¹	$R_m(i)$, год ⁻¹
Население в здании ул. ..., 41				

Группа людей	Здание, область территории объекта	q_{im}	$P(i)$ (мин. ... макс.), год ⁻¹	$R_m(i)$, год ⁻¹
	ул. ..., 41	0,238	0 ... 0	0
			Итого: $R_m =$	0
Население в здании ул. ..., 57А				
	ул. ..., 57А	0,238	$2,17 \cdot 10^{-11} \dots 6,419 \cdot 10^{-10}$	$3,394 \cdot 10^{-11}$
			Итого: $R_m =$	$3,394 \cdot 10^{-11}$

7.3. Социальный пожарный риск

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

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

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

Q_j — частота возникновения пожароопасной ситуации (пожара), год⁻¹.

Проведенные расчеты показали, что на рассматриваемом объекте не возникают пожары и взрывы, влекущие к гибели 10 и более человек в селитебной зоне. Следовательно, социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта равен нулю.

8. Вывод

В результате проведенных расчетов получены следующие значения пожарных рисков:

- Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и на территориях объекта составляет $7,099 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, что **превышает** нормативное значение 10^{-6} год^{-1} , установленное п. 1 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- Индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне составляет $3,394 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}$, что **не превышает** нормативное значение 10^{-8} год^{-1} , установленное п. 4 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- Социальный пожарный риск воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне составляет 0 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».

9. Литература

1. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Постановление Правительства РФ от 31.03.2009 № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС от 10.07.2009 г. № 404, с изм., утв. приказом МЧС России от 14.12.2010 г. № 649).
4. Гордиенко Д.М., Шебко Ю.Н. и др. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. – М.: ВНИИПО, 2012. – 242 с.
5. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
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"».