



МЧС РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский институт Государственной  
противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам  
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации  
последствий стихийных бедствий»

## **НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

**Задания и методические указания для выполнения контрольной  
работы слушателями заочной формы обучения**

Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность  
(уровень специалитета)

Екатеринбург  
2016

Надежность технических систем и техногенный риск [Текст]: задания и методические указания для выполнения контрольной работы слушателями заочной формы обучения. Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность (уровень специалитета) / Земляков В.А., Субачев С.В. – Екатеринбург: ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России, 2016. – 28 с.

Авторы-составители: Земляков В.А., кандидат военных наук, доцент, доцент кафедры управления в кризисных ситуациях ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России;

Субачев С.В., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления в кризисных ситуациях ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России.

Рецензент: Мельниченко Ю.В., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России.

Приведены варианты заданий и методические указания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск» слушателями заочной формы обучения по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность (уровень специалитета).

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании методического совета института 18 февраля 2016 г., протокол № 6.

© ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Общие методические рекомендации .....</b>	<b>4</b>
<b>Варианты заданий.....</b>	<b>6</b>
<b>Задания для выполнения контрольной работы .....</b>	<b>9</b>
Теоретическая часть .....	9
Расчетная часть .....	11
Условие задачи .....	11
Исходные данные для проведения расчета .....	11
Порядок проведения расчета .....	12
Пример выполнения практического задания .....	13
<b>Литература .....</b>	<b>26</b>

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

По дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск» рабочим учебным планом по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность для слушателей заочной формы обучения предусмотрено выполнение контрольной работы.

Контрольная работа состоит из теоретической и расчетной частей.

**В теоретической части** слушатель представляет развернутое сообщение по одному из вопросов изученного материала по дисциплине. Вариант задания теоретической части определяется по таблице 1. Например, если последние цифры номера зачетной книжки 76, то слушатель выполняет задание теоретической части № 26.

Если слушателю не ясен смысл задания или он затрудняется с подбором необходимой литературы, он должен обратиться за разъяснениями к преподавателю. В настоящих указаниях приведен список рекомендуемой литературы, однако он может быть расширен слушателем за счет использования литературы из других библиотек и периодических изданий по соответствующей тематике. Подобрав литературу, слушатель изучает ее, делая необходимые выписки. Материалы, содержащиеся в сети Интернет, должны быть сверены с учебниками и учебными пособиями. Отработав источники и получив ясное и полное представление о вопросах контрольного задания, слушатель приступает к написанию ответа на теоретический вопрос.

**Расчетная часть** работы представляет собой задачу по определению расчетной величины пожарного риска вблизи наружной установки с легковоспламеняющейся жидкостью производственного объекта.

Расчетная часть выполняется по приведенным исходным данным согласно настоящим методическим указаниям. Исходные данные для расчета определяется по таблице 1 по последним цифрам номера зачетной книжки.

Работа должна быть выполнена грамотно и аккуратно, без орфографических ошибок разборчивым почерком. Работа выполняется в тетради в клетку или на листах писчей бумаги формата А4. Если работа выполняется в тетради, строки должны иметь интервал через одну клетку, если работа выполняется на стандартных листах, текст размещается с одной стороны листа, междустрочный интервал должен быть не менее 1 см.

При выполнении работы на персональном компьютере поля должны составлять: слева – 2,5 см, справа – 1,5 см, сверху и снизу – 2 см. Шрифт – Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,15, выравнивание по ширине страницы.

Титульный лист оформляется в соответствии с общими требованиями к оформлению контрольных работ. Вопросы контрольной работы должны быть раскрыты самостоятельно, полно, с учетом современного уровня развития науки и техники. Страницы работы должны иметь нумерацию (титульный лист не нумеруется). Заголовки разделов пишутся отдельно и должны иметь сквозную нумерацию, например: 1.; 1.1.; 1.1.1. и т.д. Если по ходу изложения материала возникает необходимость в создании таблицы, то она оформляется карандашом или на компьютере, ячейки таблицы должны иметь достаточный объем, таблицы должны иметь сквозную нумерацию и название. Рисунки и схемы выполняются карандашом или на компьютере, они должны иметь сквозную нумерацию и название.

В конце работы указывается использованная литература.

Контрольная работа оценивается с учетом глубины изложения материала, самостоятельности ее выполнения, умения увязывать теоретические вопросы с практикой.

Работа, выполненная не по своему варианту, не раскрывающая суть задания или с неверно выполненными расчетами, не зачитывается и выполняется повторно с учетом указанных преподавателем замечаний. На обложке новой работы указывается «Повторная», она направляется в учебное заведение вместе с первой работой и рецензией.

Выполнив контрольную работу и получив по ней оценку «зачтено», слушатель готовится к сдаче зачета по дисциплине.

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Таблица 1

Последние цифры номера зачетной книжки	Номер задания теоретической части	Расчетная часть				
		$W_0$ , м/с	$V_{рез.}$ , м <sup>3</sup>	$d_{рез.}$ , м	$F_{обв.}$ , м <sup>2</sup>	$X$ , м
01	1	3	400	8,55	1200	3
02	2	3	400	8,55	800	3
03	3	3	300	7,6	1400	3
04	4	3	300	7,6	1000	3
05	5	3	300	7,6	650	3
06	6	3	200	6,65	1100	3
07	7	3	200	6,65	400	3
08	8	3	100	4,75	600	3
09	9	3	100	4,75	300	3
10	10	4	400	8,55	1600	4
11	11	4	400	8,55	1200	4
12	12	4	400	8,55	800	4
13	13	4	300	7,6	1400	4
14	14	4	300	7,6	1000	4
15	15	4	300	7,6	650	4
16	16	4	200	6,65	1100	4
17	17	4	200	6,65	400	4
18	18	4	100	4,75	600	4
19	19	4	100	4,75	300	4
20	20	5	400	8,55	1600	5
21	21	5	400	8,55	1200	5
22	22	5	400	8,55	800	5
23	23	5	300	7,6	1400	5
24	24	5	300	7,6	1000	5
25	25	5	300	7,6	650	5
26	26	5	200	6,65	1100	5
27	27	5	200	6,65	400	5
28	28	5	100	4,75	600	5
29	29	5	100	4,75	300	5
30	30	6	400	8,55	1600	6
31	31	6	400	8,55	1200	6
32	32	6	400	8,55	800	6
33	33	6	300	7,6	1400	6
34	34	6	300	7,6	1000	6
35	35	6	300	7,6	650	6
36	36	6	200	6,65	1100	6
37	37	6	200	6,65	400	6

Последние цифры номера зачетной книжки	Номер задания теоретической части	Расчетная часть				
		$W_0$ , м/с	$V_{рез.}$ , м <sup>3</sup>	$d_{рез.}$ , м	$F_{обв.}$ , м <sup>2</sup>	$X$ , м
38	38	6	100	4,75	600	6
39	39	6	100	4,75	300	6
40	40	7	400	8,55	1600	7
41	41	7	400	8,55	1200	7
42	42	7	400	8,55	800	7
43	43	7	300	7,6	1400	7
44	44	7	300	7,6	1000	7
45	45	7	300	7,6	650	7
46	46	7	200	6,65	1100	7
47	47	7	200	6,65	400	7
48	48	7	100	4,75	600	7
49	49	7	100	4,75	300	7
50	50	8	400	8,55	1600	8
51	1	8	400	8,55	1200	8
52	2	8	400	8,55	800	8
53	3	8	300	7,6	1400	8
54	4	8	300	7,6	1000	8
55	5	8	300	7,6	650	8
56	6	8	200	6,65	1100	8
57	7	8	200	6,65	400	8
58	8	8	100	4,75	600	8
59	9	8	100	4,75	300	8
60	10	9	400	8,55	1600	9
61	11	9	400	8,55	1200	9
62	12	9	400	8,55	800	9
63	13	9	300	7,6	1400	9
64	14	9	300	7,6	1000	9
65	15	9	300	7,6	650	9
66	16	9	200	6,65	1100	9
67	17	9	200	6,65	400	9
68	18	9	100	4,75	600	9
69	19	9	100	4,75	300	9
70	20	10	400	8,55	1600	10
71	21	10	400	8,55	1200	10
72	22	10	400	8,55	800	10
73	23	10	300	7,6	1400	10
74	24	10	300	7,6	1000	10
75	25	10	300	7,6	650	10
76	26	10	200	6,65	1100	10

Последние цифры номера зачетной книжки	Номер задания теоретической части	Расчетная часть				
		$W_0$ , м/с	$V_{рез.}$ , м <sup>3</sup>	$d_{рез.}$ , м	$F_{обв.}$ , м <sup>2</sup>	$\chi$ , м
77	27	10	200	6,65	400	10
78	28	10	100	4,75	600	10
79	29	10	100	4,75	300	10
80	30	12	400	8,55	1600	12
81	31	12	400	8,55	1200	12
82	32	12	400	8,55	800	12
83	33	12	300	7,6	1400	12
84	34	12	300	7,6	1000	12
85	35	12	300	7,6	650	12
86	36	12	200	6,65	1100	12
87	37	12	200	6,65	400	12
88	38	12	100	4,75	600	12
89	39	12	100	4,75	300	12
90	40	15	400	8,55	1600	15
91	41	15	400	8,55	1200	15
92	42	15	400	8,55	800	15
93	43	15	300	7,6	1400	15
94	44	15	300	7,6	1000	15
95	45	15	300	7,6	650	15
96	46	15	200	6,65	1100	15
97	47	15	200	6,65	400	15
98	48	15	100	4,75	600	15
99	49	15	100	4,75	300	15
00	50	3	400	8,55	1600	3



# ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

## *Теоретическая часть*

*Раздел 1. Надежность как комплексное свойство технического объекта*

1. Надежность как комплексное свойство объекта (прибора, устройства, машины, системы). Сущность надежности технического объекта по способности выполнять заданные функции.

2. Техническая система, её элементы и структура. Опасность технических систем. Основные свойства технических систем.

3. Эффективность работы технических систем и ее составляющие. Основные компоненты надежности.

4. Технический ресурс. Надежность восстанавливаемых технических систем.

5. Ремонтопригодность технических систем. Комплексные показатели надежности.

6. Внешние факторы, их классификация, понятийный аппарат.

7. Основные факторы, определяющие надежность технических систем. Характеристика внешних факторов, воздействующих на формирование отказов технических систем.

8. Внешние воздействия, связанные с действием сил природы.

9. Влияние солнечной радиации и температуры на свойства материалов.

10. Причины старения поверхности и тела детали, связанные с механическим и химическим воздействием, процессами адсорбции, адгезии, пластической деформации, изменением площади контакта.

11. Отказы технических систем, их виды и причины возникновения.

12. Факторы нагрузки на технические объекты. Механическая, химическая и электрическая нагрузка. Коэффициент нагрузки.

13. Методы повышения надежности технических систем.

14. Резервирование. Общее и поэлементное резервирование. Кратность резервирования.

15. Структурное, функциональное и временное резервирование.

*Раздел 2. Причины возникновения, прогнозирование аварий и катастроф*

16. Причины возникновения опасности. Логическая последовательность развития опасности.

17. Классификация внешних возмущающих воздействий.

18. Регламентированные и нерегламентированные воздействия на технические объекты. Виды воздействия и их причины.

19. Трансформация аварийного воздействия. Аварийная и действующая нагрузка.

20. Авария и аварийный выброс. Различные каналы и исходы развития аварии.

21. Действие негативных факторов. Причины аварийности на производстве. Проектные и запроектные аварии. Меры смягчения последствий аварий.

22. Аварийная подготовленность персонала и аварийное реагирование. Защита населения от поражающих факторов.

23. Мероприятия, проводимые РСЧС при возникновении чрезвычайной ситуации.

24. Внутренние и внешние причины опасности. Причины нерегламентированных воздействий.

25. Функции различных подразделений, привлекаемых для проведения аварийно-спасательных работ.

26. Классификация методов прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций. Методический аппарат прогноза риска.

27. Показатели достоверности прогнозов возникновения ЧС. Расчет показателей оправдываемости прогнозов и предупрежденности ЧС.

28. Система оперативного прогноза последствий сильных землетрясений с использованием ГИС-технологий. Методы прогнозирования и оценки последствий чрезвычайных ситуаций.

29. Цели прогнозирования и оценки последствий чрезвычайных ситуаций. Классификация задач оценки и прогноза последствий ЧС.

30. Методы оценки и прогноза частоты ЧС. Характеристика этих методов и используемый объем статистических данных.

### *Раздел 3. Основы теории риска, управление риском*

31. Мониторинг состояния природной среды и объектов техногенной сферы. Классификация мониторинга, его цели и функции. Основные задачи службы мониторинга прогнозов ЧС.

32. Государственная стратегия в области снижения природных и техногенных рисков.

33. Концепция национальной безопасности Российской Федерации. Концепции оправданного, приемлемого и чрезмерного рисков.

34. Классификация рисков.

35. Общие принципы и система управления рисками. Структура системы управления рисками.

36. Анализ риска. Алгоритм или схема анализа риска. Концепции анализа риска. Элементы системы анализа риска, методы анализа риска.

37. Понятие риска. Оценка и прогноз риска. Показатель риска и его количественное выражение. Независимые переменные оценки риска.

38. Факторы, влияющие на повторяемость ЧС на некоторой территории. Вероятностная модель ЧС. Структура риска на территории.

39. Структура и основные задачи РСЧС.

40. Расчет индивидуального и коллективного риска.
41. Цели и задачи анализа риска. Выявление опасностей и априорная количественная оценка риска с учетом воздействия поражающих факторов аварии на персонал, население, имущество и окружающую природную среду.
42. Выбор методов анализа риска с учетом цели, задач анализа, сложности рассматриваемых объектов, наличия необходимых данных и квалификации привлекаемых для проведения анализа специалистов.
43. Критерии приемлемого риска. Условие приемлемости риска.
44. Основные расчеты по оценке пожарного риска.
45. Сопоставления расчетных величин пожарного риска с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков.
46. Планирование и организация работ по расчету рисков.
47. Анализ возможных причин возникновения аварийных ситуаций.
48. Экологический риск. Понятие и характеристика.
49. Социальный пожарный риск, понятие и характеристика.
50. Методика расчета социального риска

### ***Расчетная часть***

#### **Условие задачи**

Выполнить расчет величины потенциального пожарного риска на расстоянии 30 метров от наружной установки производственного предприятия и определить ее категорию по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [20] и сводом правил СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [25].

Исходные данные для расчета принять по таблице 1 согласно варианту задания.

#### **Исходные данные для проведения расчета**

В качестве наружной установки рассматривается резервуарный парк бензина АИ-93. В состав резервуарного парка входит один резервуар объемом  $V_{рез.}$  (диаметр резервуара  $d_{рез.}$ ) с трубопроводами диаметром 150 мм, длиной 20 м.

Резервуар стальной вертикальный цилиндрический без понтона.

Парк имеет обвалование (ограждение), рассчитанное на гидростатическое давление разлившейся жидкости, предотвращающее перелив жидкости (в том числе при полном разрушении резервуара). Площадь внутри обвалования (ограждения) парка составляет  $F_{обв.}$

Расчетная сила ветра  $W_0$ . Расстояние от рассматриваемой точки до безопасной зоны составляет  $X$ .

## **Порядок проведения расчета**

1. Описать условие задачи и исходные данные по варианту задания, в том числе:

- описание наружной установки;
- физико-химические свойства обращающихся горючих веществ и материалов;
- статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций (приложение 2 пособия [3]).

2. Определить перечень пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией резервуара и трубопроводов, и сценариев их развития, построить дерево событий с указанием условных вероятностей перехода ситуации от стадии к стадии, привести таблицу рассматриваемых пожароопасных ситуаций с номерами сценариев их развития.

3. В соответствии с построенным деревом событий определить частоты реализации сценариев развития рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров.

4. С помощью методов, приведенных в приложении 4 [3], рассчитать опасные факторы пожара: тепловое излучение при пожарах проливов и пожарах резервуара по всей поверхности.

5. С использованием вероятностных и детерминированных критериев, приведенных в приложении 6 [3], рассчитать условную вероятность поражения человека тепловым излучением.

6. Исходя из полученных величин частоты реализации возможных пожаров и условной вероятности поражения человека тепловым излучением определить потенциальный пожарный риск на расстоянии 30 метров от резервуара и его категорию по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии со сводом правил [25].

## Пример выполнения практического задания

### Условие задачи

Выполнить расчет величины потенциального пожарного риска на расстоянии 30 метров от наружной установки производственного предприятия и определить ее категорию по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [20] и сводом правил СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [25]. Исходные данные для расчета принять согласно варианту задания.

### Исходные данные

#### *Описание наружной установки.*

В качестве наружной установки рассматривается резервуарный парк бензина АИ-93. В состав резервуарного парка входит один резервуар объемом 400 м<sup>3</sup> (диаметр резервуара 8,6 м) с трубопроводами диаметром 150 мм, длиной 20 м.

Резервуар стальной вертикальный цилиндрический без понтона.

Парк имеет обвалование (ограждение), рассчитанное на гидростатическое давление разлившейся жидкости, предотвращающее перелив жидкости (в том числе при полном разрушении резервуара). Площадь внутри обвалования (ограждения) парка составляет 1000 м<sup>2</sup>.

Расчетная сила ветра 13 м/с. Расстояние от рассматриваемой точки до безопасной зоны составляет 25 м.

*Физико-химические свойства обращающихся горючих веществ и материалов.*

Свойства бензина принимаем согласно данным, приведенным в приложении 1 пособия [3] по бензину АИ-93 (зимний): суммарная формула – C<sub>6,911</sub>H<sub>12,168</sub>; молярная масса – 95,3 кг/кмоль; температура вспышки – минус 37 °С; константы уравнения Антуана: A = 4,26511, B = 695,019, CA = 223,220; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 1,1 % (об.).

*Статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций.*

Данные по частотам реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для резервуара (резервуары для хранения ЛВЖ при давлении близком к атмосферному со стационарной крышей) и трубопроводов рассматриваемого парка принимаем в соответствии с приложением 2 пособия [3].

Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 25 мм:

$$Q_{\text{разгерм.рез.25}} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 100 мм:

$$Q_{\text{разгерм.рез.100}} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота полного разрушения резервуара:

$$Q_{\text{полн.разр.рез.}} = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота возникновения пожара на дыхательной арматуре резервуара:

$$Q_{\text{пож.дых.арм.рез.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота возникновения пожара по всей поверхности резервуара:

$$Q_{\text{пож.поверх.рез.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 12,5 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.12,5}} = 1,9 \cdot 10^{-6} (\text{год} \cdot \text{м})^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 25 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.25}} = 7,9 \cdot 10^{-7} (\text{год} \cdot \text{м})^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 50 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.50}} = 3,1 \cdot 10^{-7} (\text{год} \cdot \text{м})^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 100 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.100}} = 1,3 \cdot 10^{-7} (\text{год} \cdot \text{м})^{-1}.$$

Частота разрыва трубопровода по полному сечению:

$$Q_{\text{разгерм.труб.разр.}} = 2,5 \cdot 10^{-8} (\text{год} \cdot \text{м})^{-1}.$$

Условные вероятности мгновенного воспламенения и условные вероятности последующего воспламенения при отсутствии мгновенного в зависимости от типа утечки принимаем по таблице ПЗ.1 [3]. При этом для утечек из резервуара и трубопровода, кроме случаев полного разрушения резервуара и полного разрыва трубопровода, условные вероятности принимаем равными максимальным соответствующим условным вероятностям, приведенным в таблице ПЗ.1 [3]. Условные вероятности принимаем как для двухфазной среды.

Условная вероятность мгновенного воспламенения для утечек из резервуара и трубопровода, кроме случаев их полного разрушения:

$$P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 0,15.$$

Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для утечек из резервуара и трубопровода, кроме случаев их полного разрушения:

$$P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = 0,176.$$

Условная вероятность мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуара и полного разрыва трубопровода:

$$P_{\text{мгн.воспл.разр.}} = 0,2.$$

Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуара и полного разрыва трубопровода:

$$P_{\text{посл.воспл.разр.}} = 0,24.$$

#### Определение расчетных величин пожарного риска

##### Определение перечня пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров в рассматриваемом резервуарном парке используем метод логических деревьев событий. Построение логических деревьев событий, лежащих в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого резервуарного парка, выполняем, исходя из следующих предпосылок.

1. В качестве инициирующих пожароопасные ситуации и пожары в резервуарном парке рассматриваются следующие события: разгерметизация резервуара, разгерметизация трубопровода, возникновение пожара на дыхательной арматуре резервуара и возникновение пожара по всей поверхности резервуара.

2. Принимаем, что пожар на дыхательной арматуре резервуара приводит к возникновению пожара резервуара по всей поверхности с условной вероятностью 100%.

3. Реализация инициирующих пожароопасные ситуации событий, связанных с разгерметизацией резервуара (в том числе характеризующееся его полным разрушением) и трубопровода парка, приводит к образованию пролива в пределах обвалования (ограждения) парка.

4. При мгновенном воспламенении вышедшего горючего продукта возникает пожар пролива.

5. При отсутствии мгновенного воспламенения происходит испарение бензина с поверхности пролива с возможностью образования взрывоопасного паровоздушного облака. Однако принимается, что образование взрывоопасного паровоздушного облака возможно только в случае безветрия (штиля), поэтому в рассматриваемой работе не учитывается.

6. Последующее воспламенение при отсутствии мгновенного воспламенения при наличии ветра приводит к пожару пролива.

7. Воздействие на резервуар пожара пролива в пределах обвалования с возможностью дальнейшей эскалации пожара не рассматривается, поскольку зоны поражения от первичных пожаров шире зон поражения от возможных вторичных пожаров. На рис. 1–2 приведены деревья событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций и пожаров, на основе которых проводились расчеты по оценке пожарного риска для рассматриваемого резервуарного парка. На указанных деревьях событий

возможность перехода ситуации от стадии к стадии показана с использованием соответствующих условных вероятностей.

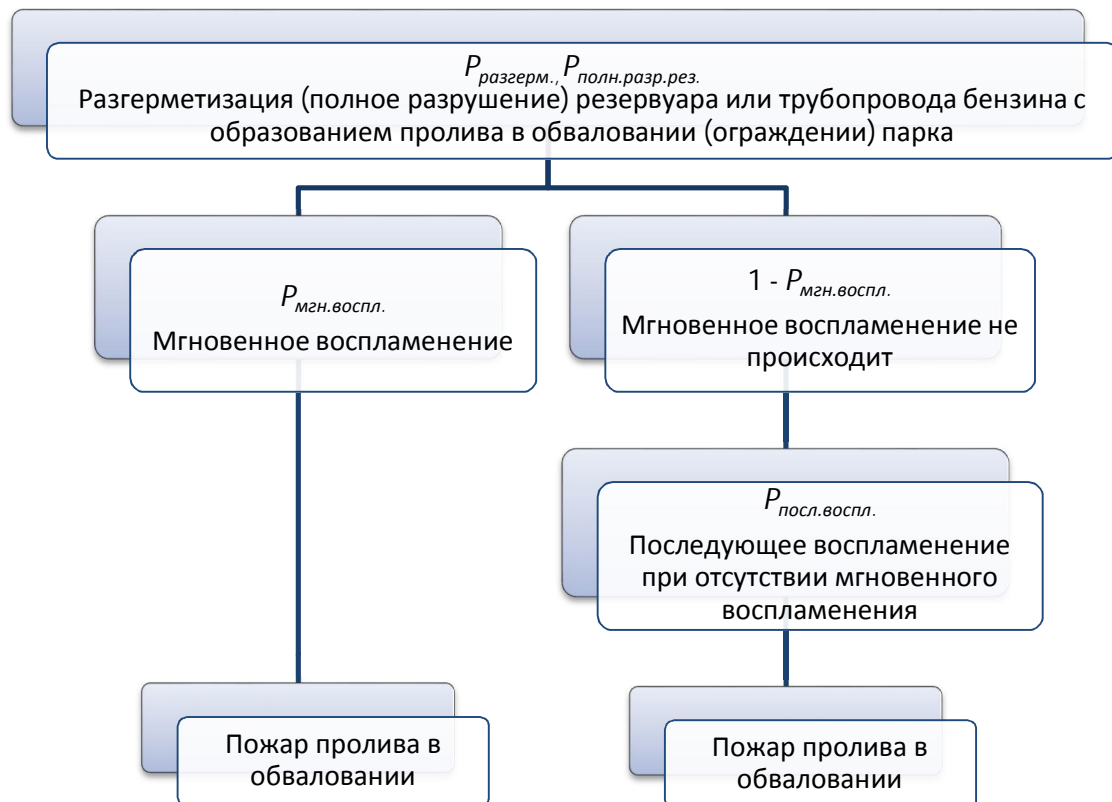


Рис. 1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией резервуара или трубопровода

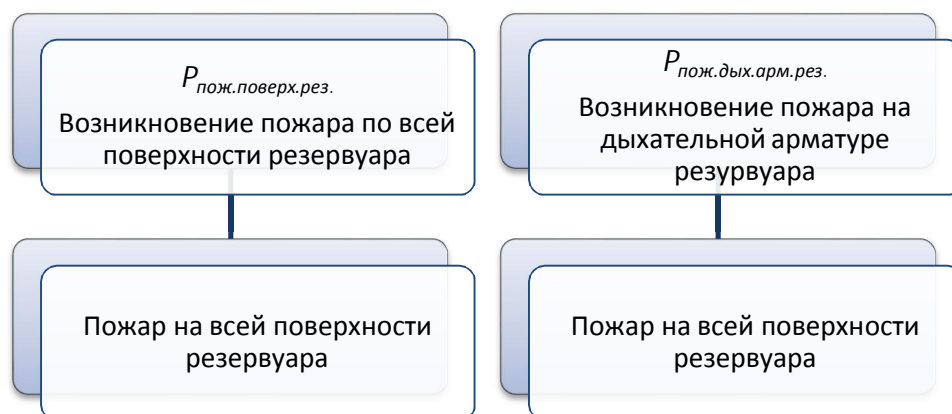


Рис. 2. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с возникновением пожара по всей поверхности резервуара

Перечень рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров, а также сценариев их развития приведен в табл. 1.



Таблица 1

## Сценарии развития пожароопасных ситуаций

Пожароопасная ситуация / пожар	Сценарий развития пожароопасной ситуации / пожара	Номер сценария
Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	1
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	2
Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	3
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	4
Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	5
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	6
Возникновение пожара резервуара по всей поверхности	Пожар резервуара по всей поверхности	7
Возникновение на дыхательной арматуре резервуара	Пожар резервуара по всей поверхности	8
Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	9
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	10
Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	11
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	12
Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	13
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	14
Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	15
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	16
Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся полным разрывом	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после мгновенного воспламенения	17
	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка после последующего воспламенения	18

### Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

Частоты реализации сценариев развития рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров определяем в соответствии с вышеприведенными деревьями событий.

Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих на резервуаре:

$$Q_1 = Q_{\text{разгерм.рез.25}} \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot 0,15 = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_2 = Q_{\text{разгерм.рез.25}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 7,48 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_3 = Q_{\text{разгерм.рез.100}} \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 5,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,15 = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_4 = Q_{\text{разгерм.рез.100}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 5,0 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 7,48 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_5 = Q_{\text{полн.разр.рез.}} \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 8,0 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_6 = Q_{\text{полн.разр.рез.}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 8,0 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 1,54 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_7 = Q_{\text{пож.поверх.рез.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_8 = Q_{\text{пож.дых.арм.рез.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих в результате разгерметизации трубопровода:

$$Q_9 = Q_{\text{разгерм.труб.12,5}} \cdot L \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 0,15 = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{10} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5}} \cdot L \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 5,68 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{11} = Q_{\text{разгерм.труб.25}} \cdot L \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 7,9 \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 0,15 = 2,37 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{12} = Q_{\text{разгерм.труб.25}} \cdot L \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 7,9 \cdot 10^{-7} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 2,36 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{13} = Q_{\text{разгерм.труб.50}} \cdot L \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 0,15 = 9,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{14} = Q_{\text{разгерм.труб.50}} \cdot L \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 9,28 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{15} = Q_{\text{разгерм.труб.100}} \cdot L \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 0,15 = 3,9 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{16} = Q_{\text{разгерм.труб.100}} \cdot L \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 3,89 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{17} = Q_{\text{разгерм.труб.разр}} \cdot L \cdot P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 2,5 \cdot 10^{-8} \cdot 20 \cdot 0,15 = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

$$Q_{18} = Q_{\text{разгерм.труб.разр}} \cdot L \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = \\ = 2,5 \cdot 10^{-8} \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,176 = 9,6 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

### Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в приложении 4 [3].

При этом согласно п.16 методики [23] для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров учитываются следующие опасные факторы пожара:

- тепловое излучение при пожарах проливов и пожарах резервуара по всей поверхности.

*Расчет интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров*

Интенсивность теплового излучения пожаров для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с возникновением пожаров пролива бензина и пожара резервуара хранения бензина по всей поверхности, рассчитывается по методу, приведенному в разделе VI приложения 4 [3] и позволяющему рассчитывать интенсивность теплового излучения пожара пролива заданного горючего продукта с очагом (проливом) заданной площади на различных расстояниях от очага пожара.

Удельная массовая скорость выгорания бензина согласно таблице П4.4 [3] принимается равной:  $m' = 0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Плотность окружающего воздуха при расчетной температуре  $\rho_a = 1,15 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Плотность насыщенных паров бензина при температуре кипения  $\rho_{\text{п}} = 3,196 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

### **1. Пожар пролива внутри обвалования.**

Площадь очага пожара в случае пожара пролива в обваловании (ограждении) парка принимаем равной площади внутри обвалования (ограждения) парка ( $F = 1000 \text{ м}^2$ ).

Эффективный диаметр пролива составит:  $d = \sqrt{4F_1/\pi} = 35,7 \text{ м}$ .

Параметр  $u_*$ , определяемый в соответствии с формулой (П4.60) [3], составляет

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m'gd}{\rho_{\text{п}}}}} = 6,94.$$

Длина пламени  $L$  определяется по формуле (П.4.59) [3]:

$$L = \begin{cases} 55d \left( \frac{m'}{\rho_a \sqrt{gd}} \right)^{0,67} u_*^{0,21}, & u_* \geq 1 \\ 42d \left( \frac{m'}{\rho_a \sqrt{gd}} \right)^{0,61}, & u_* < 1 \end{cases},$$

и при  $u_* = 6,94$  составит  $L = 57,3 \text{ м}$ .

Отклонение пламени от вертикали под действием ветра рассчитывается по формуле (П4.61) [3]:

$$\cos\theta = \begin{cases} u_*^{-0,5}, & u_* \geq 1 \\ 1, & u_* < 1 \end{cases},$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta}.$$

Таким образом, при  $u_* = 6,94$ :  $\cos\theta = 0,38$ ;  $\sin\theta = 0,93$ .

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r' + 0,5d_{\text{рез.}} = 30 + 0,5 \cdot 8,6 = 34,3 \text{ м.}$$

Параметры  $a, b, A, B, C, D, E, F$  определяются соответственно по формулам (П4.57), (П4.57.1), (П4.57.2), (П4.57.3), (П4.57.4), (П4.57.5), (П4.57.6), (П4.57.7):

$$\begin{aligned} a &= \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 57,3}{35,7} = 3,210; \\ b &= \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 34,3}{35,7} = 1,921; \\ A &= \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1)\sin\theta} = \\ &= \sqrt{3,210^2 + (1,921+1)^2 - 2 \cdot 3,210(1,921+1) \cdot 0,93} = 1,219; \\ B &= \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1)\sin\theta} = \\ &= \sqrt{3,21^2 + (1,921-1)^2 - 2 \cdot 3,21(1,921-1) \cdot 0,93} = 2,384; \\ C &= \sqrt{1 + (b^2 - 1)\cos^2\theta} = \sqrt{1 + (1,921^2 - 1) \cdot 0,38^2} = 1,178; \\ D &= \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{1,921-1}{1,921+1}} = 0,562; \\ E &= \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{3,21 \cdot 0,38}{1,921 - 3,21 \cdot 0,93} = -1,162; \\ F &= \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{1,921^2 - 1} = 1,64. \end{aligned}$$

Значение фактора облученности для вертикальной площадки, определяемое формулой (П4.55) [3], составляет

$$\begin{aligned} F_V &= \frac{1}{\pi} \left\{ -E \arctg D + E \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1 + a\sin\theta)}{AB} \right] \times \right. \\ &\times \arctg \left( \frac{AD}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \left[ \arctg \left( \frac{ab - F^2 \sin\theta}{FC} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \sin\theta}{FC} \right) \right] \left. \right\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \left\{ -(-1,162) \cdot \arctg 0,562 + (-1,162) \left[ \frac{3,210^2 + (1,921+1)^2 - 2 \cdot 1,921(1 + 3,210 \cdot 0,93)}{1,219 \cdot 2,384} \right] \times \right. \\ &\times \arctg \left( \frac{1,219 \cdot 0,562}{2,384} \right) + \frac{0,38}{1,178} \left[ \arctg \left( \frac{3,210 \cdot 1,921 - 1,640^2 \cdot 0,93}{1,640 \cdot 1,178} \right) + \arctg \left( \frac{1,640^2 \cdot 0,93}{1,640 \cdot 1,178} \right) \right] \left. \right\} = \\ &= 0,267. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_H &= \frac{1}{\pi} \left\{ \arctg \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \left[ \arctg \left( \frac{ab - F^2 \sin\theta}{FC} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \sin\theta}{FC} \right) \right] - \right. \\ &- \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2(b+1 + absin\theta)}{AB} \right] \times \arctg \left( \frac{AD}{B} \right) \left. \right\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \left\{ \arctg \left( \frac{1}{0,562} \right) + \frac{0,93}{1,178} \left[ \arctg \left( \frac{3,210 \cdot 1,921 - 1,640^2 \cdot 0,93}{1,640 \cdot 1,178} \right) + \arctg \left( \frac{1,640^2 \cdot 0,93}{1,640 \cdot 1,178} \right) \right] - \right. \\ &- \left[ \frac{3,210^2 + (1,921+1)^2 - 2(1,921+1 + 3,210 \cdot 1,921 \cdot 0,93)}{1,219 \cdot 2,384} \right] \times \arctg \left( \frac{1,219 \cdot 0,562}{2,384} \right) \left. \right\} = \\ &= 0,788. \end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности  $F_q$  определяется по формуле (П4.54) [3]:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,267^2 + 0,788^2} = 0,832.$$

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  определяется по формуле (П4.62) [3]:

$$\begin{aligned} \tau &= \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5d_{\text{рез.}})] = \\ &= \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (34,3 - 0,5 \cdot 8,55)] = 0,989. \end{aligned}$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени  $E_f$  принимается в соответствии с таблицей П4.4 [3]. Для рассматриваемого случая (диаметр очага пожара – 35,7 м) находится методом линейной интерполяции и составляет  $E_f = 31,0$  кВт/м.

Таким образом, интенсивность теплового излучения пожара пролива бензина площадью 1000 м<sup>2</sup> (пожар пролива в обваловании) в точке, расположенной на расстоянии 30 м от резервуара, при ветре со скоростью 13 м/с в направлении облучаемого объекта согласно формуле (П4.52) [3] составляет

$$q_1 = E_f F_q \tau = 31,0 \cdot 0,832 \cdot 0,989 = 25,51 \text{ кВт/м}^2.$$

## 2. Пожар резервуара по всей поверхности.

Площадь очага пожара в случае пожара резервуара по всей поверхности (диаметр резервуара 8,6 м) принимаем равной:

$$F_2 = \pi d_{\text{рез.}}^2 / 4 = \text{м}.$$

Параметр  $u_*$ , определяемый в соответствии с формулой (П4.60) [3], составляет

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m'gd}{\rho_{\text{п}}}}} = 11,17.$$

Длина пламени  $L$  определяется по формуле (П4.59) [3]:

$$L = \begin{cases} 55d \left( \frac{m'}{\rho_a \sqrt{gd}} \right)^{0,67} u_*^{0,21}, & u_* \geq 1 \\ 42d \left( \frac{m'}{\rho_a \sqrt{gd}} \right)^{0,61}, & u_* < 1 \end{cases},$$

и при  $u_* = 11,17$  составит  $L = 24,5$  м.

Отклонение пламени от вертикали под действием ветра рассчитывается по формуле (П4.61) [3]:

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \begin{cases} u_*^{-0,5}, & u_* \geq 1 \\ 1, & u_* < 1 \end{cases}, \\ \sin\theta &= \sqrt{1 - \cos^2\theta}. \end{aligned}$$

Таким образом, при  $u_* = 11,17$ :  $\cos\theta = 0,30$ ;  $\sin\theta = 0,95$ .

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r' + 0,5d_{\text{рез.}} = 30 + 0,5 \cdot 8,55 = 34,3 \text{ м}.$$

Параметры  $a, b, A, B, C, D, E, F$  определяются соответственно по формулам (П4.57), (П4.57.1), (П4.57.2), (П4.57.3), (П4.57.4), (П4.57.5), (П4.57.6), (П4.57.7):

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 24,5}{8,6} = 5,725; \\
 b &= \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 34,3}{8,6} = 8,018; \\
 A &= \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1)\sin\theta} = \\
 &= \sqrt{5,725^2 + (8,018+1)^2 - 2 \cdot 5,725(8,018+1) \cdot 0,95} = 3,946; \\
 B &= \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1)\sin\theta} = \\
 &= \sqrt{5,725^2 + (8,018-1)^2 - 2 \cdot 5,725(8,018-1) \cdot 0,95} = 2,313; \\
 C &= \sqrt{1 + (b^2-1)\cos^2\theta} = \sqrt{1 + (8,018^2-1) \cdot 0,30^2} = 2,581; \\
 D &= \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{8,018-1}{8,018+1}} = 0,882; \\
 E &= \frac{a \cdot \cos\theta}{b - a \cdot \sin\theta} = \frac{5,725 \cdot 0,30}{8,018 - 5,725 \cdot 0,95} = 0,670; \\
 F &= \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{8,018^2 - 1} = 7,955.
 \end{aligned}$$

Значение фактора облученности для вертикальной площадки, определяемое формулой (П4.55) [3], составляет

$$\begin{aligned}
 F_V &= \frac{1}{\pi} \left\{ -E \arctg D + E \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1 + a \sin\theta)}{AB} \right] \times \right. \\
 &\times \left. \arctg \left( \frac{AD}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \left[ \arctg \left( \frac{ab - F^2 \sin\theta}{FC} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \sin\theta}{FC} \right) \right] \right\} = \\
 &= \frac{1}{\pi} \left\{ -(0,670) \cdot \arctg 0,882 + (0,670) \left[ \frac{5,725^2 + (8,018+1)^2 - 2 \cdot 8,018(1 + 5,725 \cdot 0,95)}{3,946 \cdot 2,313} \right] \times \right. \\
 &\times \left. \arctg \left( \frac{3,946 \cdot 0,882}{2,313} \right) + \frac{0,30}{2,581} \left[ \arctg \left( \frac{5,725 \cdot 8,018 - 7,955^2 \cdot 0,95}{7,955 \cdot 2,581} \right) + \arctg \left( \frac{7,955^2 \cdot 0,95}{7,955 \cdot 2,581} \right) \right] \right\} = \\
 &= 0,110.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_H &= \frac{1}{\pi} \left\{ \arctg \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \left[ \arctg \left( \frac{ab - F^2 \sin\theta}{FC} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \sin\theta}{FC} \right) \right] - \right. \\
 &- \left. \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2(b+1 + ab \sin\theta)}{AB} \right] \times \arctg \left( \frac{AD}{B} \right) \right\} = \\
 &= \frac{1}{\pi} \left\{ \arctg \left( \frac{1}{0,882} \right) + \frac{0,95}{2,581} \left[ \arctg \left( \frac{5,725 \cdot 8,018 - 7,955^2 \cdot 0,95}{7,955 \cdot 2,581} \right) + \arctg \left( \frac{7,955^2 \cdot 0,95}{7,955 \cdot 2,581} \right) \right] - \right. \\
 &- \left. \left[ \frac{5,725^2 + (8,018+1)^2 - 2(8,018+1 + 5,725 \cdot 8,018 \cdot 0,95)}{3,946 \cdot 2,313} \right] \times \arctg \left( \frac{3,946 \cdot 0,882}{2,313} \right) \right\} = \\
 &= 0,053.
 \end{aligned}$$

Угловой коэффициент облученности  $F_q$  определяется по формуле (П4.54) [3]:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,110^2 + 0,053^2} = 0,122.$$

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  определяется по формуле (П4.62) [3]:

$$\begin{aligned} \tau &= \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5d_{\text{рез.}})] = \\ &= \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (34,3 - 0,5 \cdot 8,55)] = 0,979. \end{aligned}$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени  $E_f$  принимается в соответствии с таблицей П4.4 [3] и для рассматриваемого случая (диаметр очага пожара – 8,6 м) составляет  $E_f = 60,0$  кВт/м.

Таким образом, интенсивность теплового излучения пожара площадью  $57,4$  м<sup>2</sup> (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной на расстоянии 30 м от резервуара, при ветре со скоростью 13 м/с в направлении облучаемого объекта согласно формуле (П4.52) [3] составляет

$$q_2 = E_f F_q \tau = 60,0 \cdot 0,122 \cdot 0,979 = 7,17 \text{ кВт/м}^2.$$

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

В результате построения полей опасных факторов пожара для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров были определены следующие зависимости и величины.

1.  $q_1$  – интенсивность теплового излучения на расстоянии 30 метров от резервуара для пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива), равной площади обвалования  $F_1 = 1000$  м<sup>2</sup>, при наличии ветра в направлении облучаемого объекта со скоростью 13 м/с;

2.  $q_2$  – интенсивность теплового излучения на расстоянии 30 метров от резервуара для пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива), равной площади резервуара  $F_2 = 57,4$  м<sup>2</sup>, при наличии ветра в направлении облучаемого объекта со скоростью 13 м/с.

На основе указанных выше величин, с использованием вероятностных и детерминированных критериев, приведенных в приложении 6 [3], определяются следующие условные вероятности поражения людей.

1.  $Q_{dI}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива), равной площади обвалования  $F_1 = 1000$  м<sup>2</sup>.

Частота реализации указанных пожаров (сценарии развития пожароопасных ситуаций и пожаров №№ 1–6, 9–18 (см. табл. 1) составляет

$$\begin{aligned} Q_I &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_9 + Q_{10} + \\ &+ Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16} + Q_{17} + Q_{18} = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Интенсивность теплового излучения указанных выше пожаров в рассматриваемой точке составляет  $q_1 = 25,51$  кВт/м<sup>2</sup>.

Расстояние от рассматриваемой точки до безопасной зоны составляет  $x = 25$  м.

Величина эффективного времени экспозиции  $t$ , определяемого по формуле (Пб.13) [3], составляет

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{25}{u} = 10,00 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции  $Pr$ , определяемое по формуле (Пб.11) [3], составляет

$$Pr = -12,8 + 2,56 \ln(tq^{4/3}) = 4,15.$$

Значение условной вероятности поражения человека тепловым излучением в зависимости от значения пробит-функции определяется по формуле (Пб.2) [3]:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU = 0,199.$$

2.  $Q_{dII}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива), равной площади резервуара  $F_2 = 57,4$  м<sup>2</sup>.

Частота реализации указанных пожаров (сценарии развития пожароопасных ситуаций и пожаров №№ 7, 8 (см. табл. 1) составляет

$$Q_{II} = Q_7 + Q_8 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Интенсивность теплового излучения указанных выше пожаров в рассматриваемой точке составляет  $q_2 = 7,17$  кВт/м<sup>2</sup>.

Расстояние от рассматриваемой точки до безопасной зоны составляет  $x = 25$  м.

Величина эффективного времени экспозиции  $t$ , определяемого по формуле (Пб.13) [3], составляет

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{25}{u} = 10,00 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции  $Pr$ , определяемое по формуле (Пб.11) [3], составляет

$$Pr = -12,8 + 2,56 \ln(tq^{4/3}) = 4,15.$$

Значение условной вероятности поражения человека тепловым излучением в зависимости от значения пробит-функции определяется по формуле (Пб.2) [3]:

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

Приведенная выше формула справедлива при положительных значениях пробит-функции. Значения пробит-функции, меньше или равные нулю, соответствуют условной вероятности поражения, равной



нулю. Таким образом, условная вероятность поражения человека тепловым излучением для рассматриваемого случая равна  $Q_{dII} = 0$ .

Определение расчетной величины пожарного риска и категории наружной установки

Потенциальный пожарный риск в рассматриваемой точке равен сумме произведений частоты реализации возможных пожаров  $Q$  и условной вероятности поражения человека тепловым излучением при этих пожарах  $Q_d$ :

$$P = Q_I Q_{dI} + Q_{II} Q_{dII} = 1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 0,199 + 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0 = 37,1 \cdot 10^{-6}.$$

Поскольку в рассматриваемом резервуаре хранится легко-воспламеняющаяся жидкость (бензин), и не реализуются критерии, позволяющие отнести установку к категории АН или БН (так как на рассматриваемой наружной установке нет сценариев пожара с образованием волн давления), а также учитывая, что величина пожарного риска при возможном сгорании бензина превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от резервуара – рассматриваемая наружная установка относится к категории ВН.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная литература*

1. Долгин В.П. Надежность технических систем: учебное пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник, 2015. – 167 с.
2. Тимофеева С.С. Оценка техногенных рисков: учебное пособие / С.С. Тимофеева, Е.А. Хамидулина. – М.: Форум, 2015. – 208 с.
3. Абашкин А.А. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» / А.А. Абашкин и др. – М.: ВНИИПО, 2012 – 83 с.

### *Дополнительная литература*

4. Малкин В.С. Надежность технических систем и техногенный риск [Допущено учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 280100 «Безопасность жизнедеятельности»] / В.С. Малкин. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 432 с.
5. Воскобоев В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск. Ч. 1. Надежность технических систем. Учебник для вузов МЧС России / В.Ф. Воскобоев. – М.: АГЗ, ООО Альянс, 2008. – 200 с.
6. Акимов В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах: учебник для ВУЗов / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: «Деловой экспресс», 2004. – 347 с.
7. Акимов В.А. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в ЧС природного и техногенного характера: учебное пособие / В.А. Акимов, Ю.Л. Воробьев, М.И. Фалеев и др. 3-изд. испр. – М.: Высшая школа, 2008. – 592 с.
8. Акимов В.А. Катастрофы и безопасность: учебник для ВУЗов / В.А. Акимов. – М.: Деловой экспресс, 2006. – 345 с.
9. Воробьев Ю.Л. Основы защиты населения и территорий в кризисных ситуациях: учебник для ВУЗов / Ю.Л. Воробьев. – М.: Деловой экспресс, 2006. – 326 с.
10. Мастрюков Б.С. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них: учебник для студентов высших учебных заведений / Б.С. Мастрюков. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 320 с.
11. Михайлов Л.А. Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них: учебник для ВУЗов / Л.А. Михайлов, В.П. Соломин, под ред. С.А. Михайлова. – СПб.: Питер, 2009. – 235 с.
12. Оперативное управление мероприятиями РСЧС: сборник лекций для руководящего состава МЧС России / Книга 1. Издание 2, дополненное

и переработанное; под общ. ред. В.Ф. Мищенко. – Москва: ООО «ИПП «КУНА», 2004. – 500 с.

13. Оперативное управление мероприятиями РСЧС: сборник лекций для руководящего состава МЧС России / Книга 2. Издание 2, дополненное и переработанное; под общ. ред. В.Ф. Мищенко. – Москва: ООО «ИПП «КУНА», 2004. – 441 с.

14. Петров С.В. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них: учеб пособие / С.В. Петров, В.А. Макашев. – М.: ЭНАС, 2008. – 224 с.

15. Бондаренко В.В. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / В.В. Бондаренко, В.К. Симанович. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, 2009. – 125 с.

16. Брусницына Л.А. Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях: учебное пособие / Л.А. Брусницына. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, 2010. – 134 с.

17. Заец А.Р. Опасные природные процессы. Курс лекций: учебное пособие / А.Р. Заец. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, 2008. – 125 с.

18. Заец А.Р. Тактика сил РСЧС и гражданской обороны: учебное пособие / А.Р. Заец. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, 2010. – 94 с.

*Нормативные правовые акты и нормативные документы*

19. Конституция Российской Федерации. – М.: Юрист, 1998. – 56 с.

20. Федеральный закон от 22 июля 2008 года №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

21. Федеральный закон от 21 декабря 1994 года № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

22. Федеральный закон от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».

23. Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (с изм., утв. приказом МЧС России от 14.12.2010 № 649).

24. Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (с изм., утв. приказами МЧС России от 12.12.2011 № 749, от 02.12.2015 № 635).

25. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М., 2009.

*Электронные ресурсы*

26. Портал МЧС России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru>.

27. Межведомственная информационная система по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rb.mchs.gov.ru>.

28. Все о геологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geo.web.ru>.

29. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.

30. Онлайн калькуляторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matematikam.ru/calculate-online>.