

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**Институт инженерной и экологической безопасности**

(наименование института полностью)

**20.03.01 Техносферная безопасность**

(код и наименование направления подготовки, специальности)

**Пожарная безопасность**

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка мероприятий по снижению пожарных рисков

Студент

**А.Г. Проскурин**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

**И.В. Резникова**

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

**к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе**

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

Тема работы: «Разработка мероприятий по снижению пожарных рисков».

В разделе «Особенности функционирования объекта» исследован процесс получения пентаэритрита и безопасность оборудования производства пентаэритрита, представлены результаты анализа основных причин произошедших аварий, произошедших на производствах с аналогичными веществами в период с 17.02.88 г. по 30.06.18.

В разделе «Методы оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков» рассмотрены методы прогнозирования, методики оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков.

В разделе «Анализ и оценка пожарного риска на объекте защиты» проведён анализ частоты пожарной ситуации, произведены расчеты поля опасных факторов пожара для различных сценариев его развития, произведена оценка последствий воздействия опасных факторов на работников для различных сценариев его развития, рассчитан индивидуальный риск.

В разделе «Методы повышения огнестойкости материалов и конструкций по горючести» проанализированы существующие методы повышения огнестойкости материалов и конструкций по горючести.

В разделе «Разработка мероприятий по снижению пожарных рисков» разработан способ повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс».

В разделе «Разработка регламентированной процедуры по охране труда» разработана регламентированная процедура организации предварительных и периодических медицинских осмотров в ПАО «Метафракс».

В разделе «Разработка регламентированной процедуры по охране окружающей среды и экологической безопасности» разработан порядок проектирования системы управления экологической безопасностью на предприятии.

В разделе «Чрезвычайные и аварийные ситуации, связанные с нарушением требований пожарной безопасности» представлены основные чрезвычайные и аварийные ситуации, связанные с нарушением требований пожарной безопасности, приведён порядок взаимодействия сил и средств сил и использования средств на производственной площадке ПАО «Метафракс».

В разделе «Оценка эффективности мероприятий по снижению пожарных рисков» произведён расчёт интегрального экономического эффекта от выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков.

Работа состоит из девяти разделов на 71 странице и содержит 12 таблиц и 14 рисунков.

## Содержание

Введение.....	5
Термины и определения .....	7
Перечень сокращений и обозначений.....	8
1 Особенности функционирования объекта.....	9
2 Методы оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков.....	18
3 Анализ и оценка пожарного риска на объекте защиты .....	23
3.1 Выявление частоты пожарной ситуации .....	23
3.2 Расчет поля опасных факторов пожара для различных сценариев его развития .....	29
3.3 Оценка последствий воздействия опасных факторов на работников для различных сценариев его развития, расчет индивидуального пожарного риска .....	37
4 Методы повышения огнестойкости материалов и конструкций по горючести.....	41
5 Разработка мероприятий по снижению пожарных рисков .....	44
6 Разработка регламентированной процедуры по охране труда.....	49
7 Разработка регламентированной процедуры по охране окружающей среды и экологической безопасности.....	53
8 Чрезвычайные и аварийные ситуации, связанные с нарушением требований пожарной безопасности .....	56
9 Оценка эффективности мероприятий по снижению пожарных рисков .....	59
Заключение .....	65
Список используемых источников.....	68

## Введение

Опасность пожара состоит из двух компонентов, уравновешенных друг другом: один – это возможность возникновения пожара, а другой – масштабы последствий этого пожара.

Нефтегазовые и химические предприятия характеризуются повышенной пожарной опасностью [22]. Помимо очевидного риска для жизни людей, крупный пожар приводит к финансовым потерям из-за отсутствия непрерывности бизнеса и простоев во время восстановления, а также к значительным затратам на материальный ущерб [23].

Кроме того, такие пожары наносят серьезный ущерб окружающей среде. А поскольку химические предприятия завоевали репутацию небезопасных объектов, сейчас самое время подумать о том, как снизить риск пожара на этих объектах [25].

Факторы риска в каждой области, вероятно, будут отличаться друг от друга, и их определяет полная, всесторонняя оценка риска пожара [24]. Полная, всесторонняя оценка пожарного риска помогает определить системы, которые направлены на его снижение [21].

Цель работы – разработка мероприятий по снижению пожарных рисков производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс».

Задачи работы:

- исследовать процесс получения пентаэритрита;
- проанализировать безопасность оборудования производства пентаэритрита;
- проанализировать основные причины произошедших аварий, произошедших на производствах с аналогичными веществами;
- рассмотреть методы прогнозирования, методики оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков;
- провести анализ частоты пожарной ситуации;

- произвести расчеты поля опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- произвести оценку последствий воздействия опасных факторов на работников для различных сценариев его развития;
- рассчитать индивидуальный риск;
- проанализировать существующие методы повышения огнестойкости материалов и конструкций по горючести;
- разработать мероприятия по снижению пожарных рисков;
- проанализировать основные чрезвычайные и аварийные ситуации, связанные с нарушением требований пожарной безопасности на объекте исследования.
- произвести расчёт интегрального экономического эффекта от выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков.

## Термины и определения

В настоящей ВКР применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Авария – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемые взрыв, сброс и (или) выброс опасных веществ [1].

Анализ риска аварии – процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии на ОПО для отдельных лиц или групп людей, имущества или ОС [1].

Опасные вещества – воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность [1].

Оценка риска аварии – процесс, используемый для определения вероятности (или частоты) и степени тяжести последствий реализации опасностей аварий на ОПО для здоровья человека, имущества и (или) ОС [1].

Приемлемый риск аварии – риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений. Риск эксплуатации ОПО является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации ОПО, общество готово пойти на этот риск [1].

Риск аварии – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на ОПО и тяжесть ее последствий [1].

Индивидуальный риск – частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности аварий на ОПО [1].

## Перечень сокращений и обозначений

В настоящей ВКР применяют следующие сокращения и обозначения:

ВВ – вредное воздействие.

ВЗ – взрывоопасная зона.

ГЖ – горючая жидкость.

ЖФ – жидкая фаза.

ЗП – загазованность помещения.

ДТЛ дополнительная технологическая линия.

КСБ – комплексная система безопасности.

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика.

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость.

НКПВ – нижний концентрационный предел взрываемости.

ОДК – ориентировочно допустимое количество.

ОПО – опасный производственный объект.

ОТЛ – основная технологическая линия.

ОШ – огненный шар

ПГФ – парогазовая фаза.

ПДК – предельно допустимая концентрация.

ПДН – предельно допустимая норма.

ПДС – предельно допустимый сброс.

ПВС – пылевоздушная смесь.

ПП – пожар пролива.

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина.

ТВ – токсоволна.

ТВС – топливно-воздушная смесь.

ФТП – фильтрат технического пентаэритрита.

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.



## 1 Особенности функционирования объекта

Общество с ограниченной ответственностью «Техно СТ», расположенное по адресу: 445027, РФ, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Фрунзе д.25 пом.76 получило задание от ПАО «Метафракс» по оценке пожарных рисков на производственной площадке пентаэритрита в ПАО «Метафракс».

Между Обществом с ограниченной ответственностью «Техно СТ» и ПАО «Метафракс» заключен договор на оказание услуг по оценке пожарных рисков на производственной площадке пентаэритрита в ПАО «Метафракс».

Объектом исследования в данной бакалаврской работе является производство пентаэритрита в ПАО «Метафракс», которое расположено по адресу: Пермский край, г.о. Губаха, Заводская улица, 1

«Компания выпускает формалин, карбамидоформальдегидный концентрат, полиамид, формиат натрия, пентаэритрит (в том числе микронизированный), дипентаэритрит, уротропин (в том числе микронизированный) и раствор альдегидный морозостойкий» [4].

«Основными потребителями пентаэритрита являются российские компании, занимающиеся производством взрывчатых веществ и лакокрасочной продукции» [4].

Процесс получения пентаэритрита осуществляется по двум технологическим линиям: основная технологическая линия (ОТЛ) и дополнительная технологическая линия (ДТЛ) методом конденсации формальдегида и ацетальдегида в водной среде в присутствии катализатора – гидроксида натрия. Конденсационный раствор нейтрализуют муравьиной кислотой и подвергают ректификации для отгонки непрореагировавшего формальдегида и метанола с последующим обезметаноливанием формалина, который используют повторно при конденсации. Метанол с примесью формальдегида направляют на переработку в отделение уротропина или в качестве метанола сырца отгружают потребителям. Конденсационный

раствор выпаривают, кристаллизуют, фильтруют с целью отделения от формиата натрия. Полученный технический пентаэритрит растворяют в воде, очищают на катионите от формиата натрия, раствор перекристаллизовывают, фильтруют с целью выделения товарного пентаэритрита, который сушат и упаковывают в полипропиленовые мешки или биг-беги [20].

Образующиеся в процессе производства технический и товарный маточники совместно с промывными водами подвергают на ДТЛ упариванию и кристаллизации, полученную суспензию фильтруют с целью отделения от формиата натрия. Технический пентаэритрит растворяют в воде, очищают на катионите от формиата натрия, раствор перекристаллизовывают, фильтруют с целью выделения товарного пентаэритрита, продукт сушат и упаковывают в полипропиленовые мешки.

Вторичный технический маточник упаривают, кристаллизуют, фильтруют с целью выделения формиата натрия. Выделенный формиат натрия сушат и упаковывают в полипропиленовые мешки. Образующийся при фильтровании третичный технический маточник после подготовки в качестве фильтрата технического пентаэритрита отгружается потребителям.

Оборудование производства пентаэритрита расположено в производственных помещениях корпусов: 1387, 1392, 1391, 1391а и на прицевых открытых площадках. В состав производства пентаэритрита входит отделение подготовки производства. Отделение корпусов 1392, 1392а, 1403, 1404 предназначено для приёма, хранения и выдачи сырья в отделения и производства предприятия, а также приёма, хранения и отгрузки ФТП потребителям. Кроме этого предусмотрена отгрузка метанола сырца потребителям. Отделение корпусов 1391, 1391а предназначено для упаковки, приёма, хранения и отгрузки готовой продукции: пентаэритрита технического, уротропина технического и стабилизированного, формиата натрия технического, а также для приёма, хранения и выдачи вспомогательных материалов [20].

Блок-схема производства пентаэритрита представлена на рисунке 1.

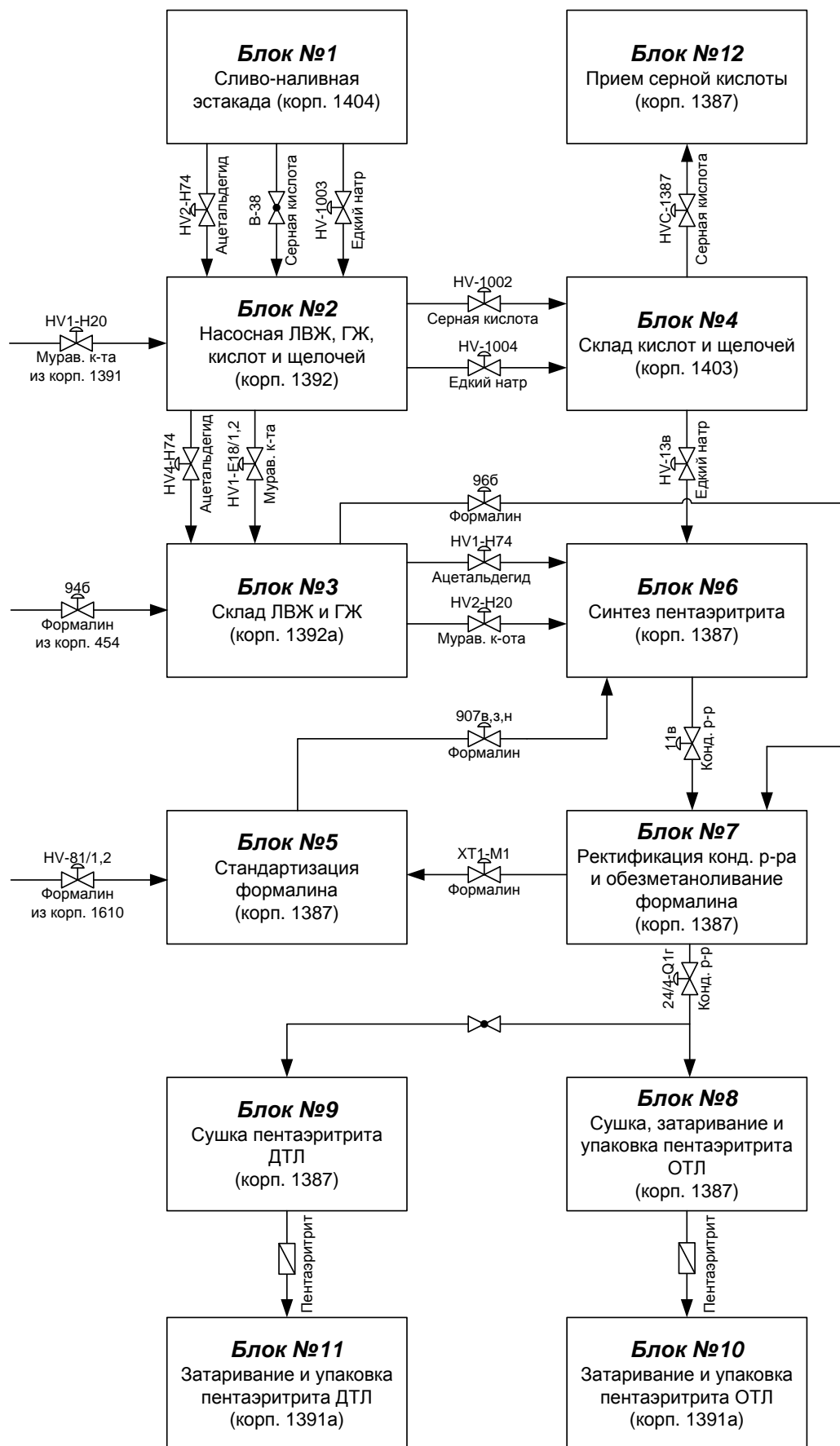


Рисунок 1 – Блок-схема производства пентаэритрита

В соответствии с назначением и расположением основного технологического оборудования производство пентаэритрита разделено на 12 технологических блоков:

- блок №1 – сливо-наливная эстакада (корп. 1404);
- блок №2 – насосная ЛВЖ, ГЖ, кислот и щелочей (корп. 1392);
- блок №3 – склад ЛВЖ и ГЖ (корп. 1392а);
- блок №4 – склад кислот и щелочей (корп. 1403);
- блок №5 – стандартизация формалина (корп. 1387);
- блок №6 – синтез пентаэритрита (корп. 1387);
- блок №7 – ректификация конденсационного раствора и обезметаноливание формалина (корп. 1387);
- блок №8 – сушка, затаривание и упаковка пентаэритрита ОТЛ (корп. 1387);
- блок №9 – затаривание и упаковка пентаэритрита ОТЛ (корп. 1391а)
- блок №10 – сушка пентаэритрита ДТЛ (корп. 1387);
- блок №11 – затаривание и упаковка пентаэритрита ДТЛ (корп. 1391а)
- блок №12 – прием серной кислоты (корп. 1387).

Ацетальдегид поступает на склад в железнодорожных цистернах под давлением азота не более  $3,0 \text{ кгс/см}^2$ . Раскачка ацетальдегида из железнодорожной цистерны осуществляется центробежным насосом. Возможна раскачка цистерн путем передавливания ацетальдегида азотом, подаваемым в цистерну из аккумулятора азота, в который азот поступает из заводской сети. Перекачивание ацетальдегида из железнодорожной цистерны в емкость производится только после получения результатов анализа сырья.

Хранение ацетальдегида в емкости осуществляется под давлением азота ( $2,8 \div 3,0$ )  $\text{кгс/см}^2$  и температуре не более  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  [20].

Концентрация паров ацетальдегида в воздухе рабочей зоны в помещении насосной ЛВЖ и ГЖ у насосов контролируется сигнализатором

«Politron 2IR-334», при достижении 30 % объема от НКПВ автоматически включаются в работу аварийные вытяжки и фонарь, установленный на входе в насосную ЛВЖ и ГЖ, и выводится световая, звуковая сигнализация и аварийное сообщение на дисплей ПЭВМ [20].

Анализ крупномасштабных аварий, связанных с производством, хранением или транспортировкой химически опасных и горючих веществ, показывает, что все они произошли из-за различного рода разгерметизаций оборудования, его элементов или трубопроводов.

Проанализировано 22 аварии, произошедших на производствах с аналогичными веществами в период с 17.02.88 г. по 30.06.18 г. [2].

Анализ основных причин произошедших аварий позволил выделить следующие взаимосвязанные группы причин, характеризующиеся:

- отказами (неполадками оборудования) – 18.2 % от всех причин;
- ошибочными действиями персонала – 72.7 %;
- внешними воздействиями природного и техногенного характера – 9.1 % [3].

События, способные привести к возникновению и развитию аварийных ситуаций на рассматриваемом объекте могут быть разделены на три группы:

- к первой группе будем относить перебои в подаче сырья, электроэнергии, инертного газа, воды и пара;
- ко второй группе – внешние опасности, связанные с соседними производствами или объектами, движением транспорта, природные опасности и акты саботажа (диверсии);
- третья группа включает в себя отказы оборудования (насосов, вентиляторов), средств контроля и управления параметрами технологического процесса, ошибочные действия или бездействие персонала, разгерметизация оборудования и трубопроводов.

Для третьей группы причин проводится количественная оценка вероятности реализации опасных событий и достаточности технических и организационных решений, направленных на предупреждение, обнаружение

и снижение последствий опасных событий; для первой и второй групп – качественная оценка.

Первая группа опасностей.

При отсутствии или перебоях в подаче на объект сырья, электроэнергии, сжатого воздуха для средств КИПиА, воды и пара технологические процессы прекращаются в соответствии с инструкциями по безопасной эксплуатации. Анализ ситуаций показывает, что при исправных системах управления и регулирования, правильных и своевременных действиях обслуживающего персонала остановка может быть проведена без возникновения каких-либо опасных ситуаций [5].

При прекращении подачи пожарохозяйственной воды возрастает риск увеличения ущерба от пожара в случае крупномасштабной аварии.

Вторая группа опасностей.

Опасности, связанные с соседними производствами или объектами [5].

Производство пентаэритрита, находящееся на промплощадке ПАО «Метафракс» может быть вовлечено в зону действия поражающих факторов потенциальных аварий на соседних производствах, например, в зону действия токсической аммиака в результате аварий на складе жидкого аммиака (корп. 472).

Опасности, связанные с движением транспорта заключаются не только в возможности появления источника зажигания взрывоопасного облака, но и в возможности разрушения трубопроводов, например, в результате наезда. Этот вид опасностей представляется маловероятным, так как въезд машин на территорию площадки ограничен, монтаж оборудования на площадке предусматривает наличие транспортных развязок. Кроме того, основные коммуникации смонтированы на эстакадах высотой, предусматривающей высоту транспортных средств. Маловероятной является также опасность, связанная с падением летательных аппаратов. Однако последствия этих опасностей могут быть катастрофическими [5].

Природные опасности. При высокой температуре окружающей среды в летнее время, особенно при нарушении окраски емкостного оборудования увеличивается температура стенки аппарата и соответственно давление насыщенных паров ГЖ внутри. Опасность разгерметизации и ее последствий возрастает [2].

В случае низкой температуры окружающей среды при наличии влаги или конденсата в оборудовании и трубопроводах и при нарушении их обогрева возможно образование гидратных или ледяных пробок и разрушение трубопровода и арматуры под их механическим воздействием.

Определенную опасность представляют молнии как потенциальный источник зажигания при неисправности системы молниезащиты.

Одним из природных факторов риска, который следует отметить, является морозная пучинистость грунтов.

Опасности, связанные с актами саботажа и диверсиями.

Последствия этих опасностей могут быть весьма серьезными, вплоть до полного разрушения объекта. Вероятность крупных аварий, связанных с указанным видом опасностей, определяется, в основном, мероприятиями организационного и социального характера, оценить которые с приемлемой точностью в настоящее время не представляется возможным.

Третья группа опасностей.

Возможные последствия ошибок персонала и/или отказов средств контроля и автоматизации технологического процесса, в результате которых происходит разгерметизация отдельных единиц оборудования или трубопроводов, содержащих опасные вещества, варьируются в широкой степени: от последствий, сравнимых с утечками, до полного разрушения оборудования и выброса всего их содержимого.

Третья группа аварий характерна не только для производств с большим количеством ручных операций, но и для производств, в которых вмешательство человека требуется, как правило, только в аварийных ситуациях.

Причинами этих аварий являются:

- ошибки оператора;
- отключение систем сигнализации из-за ложных срабатываний;
- ошибки при передаче информации между персоналом;
- несанкционированное проведение огневых и газоопасных работ и т.д.

Предпосылками третьей группы аварий являются:

- отсутствие у персонала знаний о возможных опасностях;
- отсутствие у персонала достаточных навыков;
- переоценка персоналом своих возможностей.

Использование и обращение в рассматриваемом производстве формалина, метанола, серной кислоты и едкого натра являющихся опасными химическими веществами, представляет значительную потенциальную токсическую опасность объекта. Сосредоточение на складе больших количеств ЛВЖ и ГЖ (ацетальдегид, муравьиная кислота, формалин) представляет значительную пожаровзрывоопасность рассматриваемого производства. Кроме того, в производстве обращается и хранится большое количество пентаэритрита. В случае аварийных ситуаций на технологическом оборудовании, содержащем пентаэритрит, а также в процессах сушки, упаковки, транспортирования и складирования вещества возможно интенсивное пылевыделение, что также представляет потенциальную взрывопожароопасность рассматриваемого производства.

Анализ свойств веществ, обращающихся в производстве, условий ведения технологического процесса и изучение опыта крупных аварий позволяют утверждать, что в процессе эксплуатации оборудования не исключена возможность при его разгерметизации в случае нарушения параметров процесса различных по массе выбросов горючих и химически опасных веществ.

Следует подчеркнуть, что взрывы и пожары могут происходить как на открытых площадках, так и в помещении и внутри оборудования [15].



Если горение проливов, струй реализуется чаще всего на открытых площадках, то хлопки, взрывы могут происходить как на открытых площадках, так и в помещениях и внутри оборудования. Взрыв взрывоопасной среды внутри оборудования и коммуникаций возможен при выводе оборудования в ремонт и при пуске в эксплуатацию [15].

Не исключена возможность разрушения трубопроводов вследствие гидроударов при быстром открытии или закрытии запорной арматуры [15].

Возможны также загорания паров горючих жидкостей при вскрытии оборудования или отдельных участков трубопроводов при подготовке к ремонту или при проведении ремонтных работ.

Во время операций по подготовке оборудования к ремонту и к пуску возможны взрывы парогазовых смесей внутри оборудования при недостаточном вытеснении воздуха из системы.

Используемые на объекте насосы также представляют опасность для обслуживающего персонала в случае их разрушения.

Вывод: при несоблюдении правил промышленной и пожарной безопасности возможны аварии, сопровождающиеся выбросом большого количества сжиженных углеводородных газов с последующим их воспламенением и сгоранием при наличии источника зажигания.

## **2 Методы оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков**

Основная задача анализа риска заключается в том, чтобы предоставить объективную информацию о состоянии безопасности территории.

Основные задачи этапа оценки риска включают:

- определение показателей степени риска чрезвычайных ситуаций;
- оценка возможных последствий чрезвычайных ситуаций;
- оценка состояния работ по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- разработка мероприятий по снижению риска и смягчению последствий чрезвычайных ситуаций на территории [9].

Оценка последствий включает анализ возможных воздействий на людей, имущество и / или окружающую природную среду.

Обобщенная оценка риска (или степень риска) опасного производственного объекта должна отражать состояние безопасности с учетом показателей риска от всех нежелательных событий, которые могут произойти, и основываться на результатах:

- интегрирования показателей рисков всех нежелательных событий с учетом их взаимного влияния;
- анализа неопределенности и точности полученных результатов;
- анализа соответствия условий эксплуатации требованиям безопасности и критериям приемлемого риска [9].

Приемлемый риск аварии – риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально – экономических соображений. Риск эксплуатации объекта является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск [9].

Основным требованием к выбору или определению критерия приемлемого риска является его обоснованность и определенность. При этом критерии приемлемого риска могут задаваться нормативной документацией,

определяться на этапе планирования анализа риска и / или в процессе получения результатов анализа [9].

Критерии приемлемого риска следует определять исходя из совокупности условий, включающих определенные требования безопасности и количественные показатели опасности. Условие приемлемости риска может выражаться в виде условий выполнения определенных требований безопасности, в том числе количественных критериев [9].

Основой для определения критериев приемлемого риска являются:

- нормы и правила промышленной безопасности или иные документы по безопасности в анализируемой области;
- сведения о произошедших авариях, инцидентах и их последствиях;
- опыт практической деятельности;
- социально-экономическая выгода от эксплуатации опасного производственного объекта.

Эксплуатация технологических процессов является недопустимой, если индивидуальный риск больше  $10^{-4}$  или социальный риск больше  $10^{-3}$ .

Эксплуатация технологических процессов при промежуточных значениях риска может быть допущена после проведения дополнительного обоснования, в котором будет показано, что предприняты все возможные и достаточные меры для уменьшения пожарной опасности.

Анализ риска рассматриваемого объекта включает следующие этапы:

- идентификация возможных источников чрезвычайных ситуаций;
- определение типовых сценариев возможных аварий;
- оценка количества опасных веществ, участвующих в аварии;
- расчет вероятных зон действия поражающих факторов;
- оценка возможного числа пострадавших;
- обобщение оценок риска и сравнение их значений с критериями приемлемого риска.

Критерии для зонирования территории по степени опасности чрезвычайных ситуаций приведены на рисунке 2.

Частота реализации опасности, случаев/год	Социальный ущерб				
	Погибло более одного человека, имеются пострадавшие	Погиб один человек, имеются пострадавшие	Погибших нет, имеются серьезно пострадавшие	Серьезно пострадавших нет, имеются потери трудоспособности	Лиц с потерей трудоспособности нет
$>1$	Зона неприемлемого риска, необходимы неотложные меры по уменьшению риска				Зона жесткого контроля необходима оценка
$1-10^{-1}$					
$10^{-1}-10^{-2}$	целесообразности мер по уменьшению риска				
$10^{-2}-10^{-3}$					
$10^{-3}-10^{-4}$	Зона приемлемого риска, нет необходимости в мероприятиях по уменьшению риска				
$10^{-4}-10^{-5}$					
$10^{-5}-10^{-6}$					

Рисунок 2 – Матрица для определения опасности территорий (зон) по критерию «частота реализации – социальный ущерб»

В основу математических моделей прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций положена причинно-следственная связь двух процессов: воздействия поражающих факторов на объект и сопротивления самого объекта этому воздействию. Оба процесса носят ярко выраженный случайный характер. Поэтому для оценки последствий чрезвычайных ситуаций, необходимо применять вероятностный подход [9].

На вероятность разрушения зданий влияет разброс прочности материалов, отклонение строительных элементов от проектных размеров, различие условий изготовления элементов и другие факторы.

Поражение людей будет зависеть как от перечисленных факторов, так и от ряда других случайных событий. В частности, от вероятности размещения людей в зоне риска, плотности расселения в пределах населённого пункта и вероятности поражения людей обломками при получении зданиями той или иной степени повреждения.

Математический подход заключается в использовании имеющихся данных о характеристиках прогнозируемого процесса, их обработке математическими методами, получение зависимости, связывающей указанные характеристики со временем, и вычисление с помощью найденной зависимости характеристик процесса в заданный момент времени. Этот подход основан на применении моделирования и экстраполяции.

Процессу математического прогнозирования присущи следующие этапы:

- сбор и обработка исходных данных;
- выбор и обоснование математических моделей по объекту прогнозирования;
- обработка информации об объекте прогнозирования, ее уточнение, получение дополнительных характеристик, влияющих на устойчивость объекта к внешним воздействиям;
- непосредственно прогнозирование, т.е. получение характеристик объекта в заданный интервал времени в будущем.

Основными структурными элементами алгоритма расчета являются:

- определение массы горючего вещества, содержащегося в облаке;
- определение эффективного энергозапаса ТВС;
- определение ожидаемого режима взрывного превращения ТВС;
- расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн для различных режимов;
- определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;
- оценка поражающего воздействия взрыва ТВС.

Оценка количества опасного вещества, способного участвовать в авариях, носит консервативный характер, т.е. отражает максимально возможное количество его, выбрасываемое из оборудования, с учетом емкости оборудования, норм технологического режима по объемно-массовым расходам опасных веществ, характеристик элементов оборудования и времени реагирования персонала на возникновение нештатных ситуаций.

Изложенные методы прогнозирования рассчитаны на применение ЭВМ и использование заблаговременно составленных программ.

Вывод:

Основным достоинством предлагаемой методики оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков является проведение расчетов с учетом режима взрывного превращения газопаровоздушных смесей, зависящего от чувствительности горючего вещества к инициированию, агрегатного состояния ТВС и степени загроможденности окружающего пространства.

### **3 Анализ и оценка пожарного риска на объекте защиты**

#### **3.1 Выявление частоты пожарной ситуации**

На производственной площадке объекта аварии могут реализоваться в следующих видах:

- дефлаграционный взрыв – сгорание предварительно перемешанных паровоздушных смесей в открытом пространстве с дозвуковыми скоростями;
- взрыв паро-пылевоздушных смесей в замкнутом пространстве;
- огненный шар – диффузионное горение неперемешанных газовых и парогазовых облаков в атмосфере с поверхности облака;
- горение (пожар) пролива – диффузионное горение паров горючих жидкостей на открытой площадке или в помещении;
- токсоволна – распространение облаков паров опасных химических веществ на открытой площадке;
- образование взрывоопасной зоны, внутри которой существуют горючие газы или пары при концентрациях, превышающих концентрацию на нижнем пределе распространения пламени [12].

Определение сценариев возникновения и развития аварийных ситуаций на анализируемом объекте по рассмотренным выше причинам осуществлялось с использованием блок-схемы (рисунок 3). Блок-схема предусматривает постадийное развитие аварий на трех уровнях в зависимости от их масштабов и тяжести последствий.

Основные аварийные ситуации на объекте, как показано выше, связаны с разрушением (полным или частичным) оборудования и коммуникаций. Поэтому именно эти варианты аварий положены в основу следующих типовых сценариев [3].

Блок-схема развития аварий на анализируемом объекте представлен на рисунке 3.

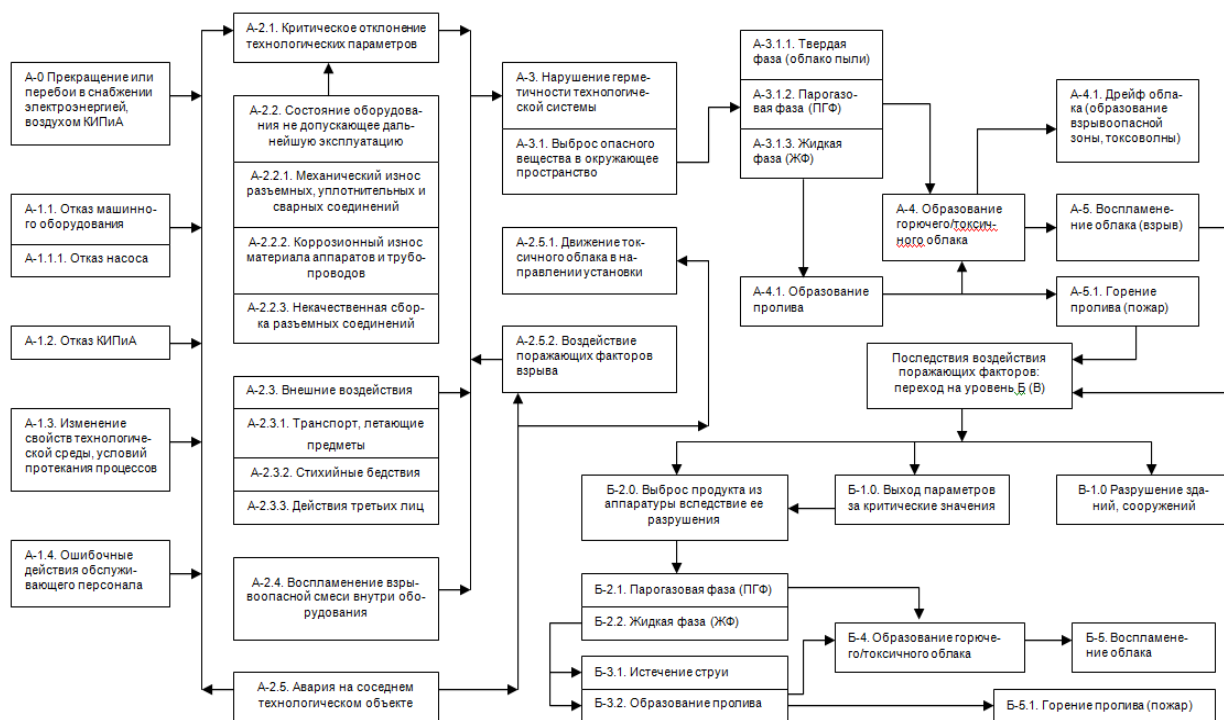


Рисунок 3 – Блок-схема развития аварий

Сценарий С1. Полное разрушение емкостного оборудования (котла вагон-цистерны), содержащего формалин, ацетальдегид, муравьиную кислоту → выход паровой фазы с образованием первичного горячего/токсичного облака → пролив жидкой фазы на подстилающую поверхность → испарение опасного вещества с поверхности пролива с образованием вторичного горячего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсиволны → воспламенение облака (взрыв), пожар пролива при наличии источника зажигания → воздействие барических, токсических и термических нагрузок на людей, оборудование, здания и сооружения.

Сценарий С2. Частичная разгерметизация (отверстие  $\varnothing 25$  мм) емкостного оборудования (котла вагон-цистерны), содержащего формалин, ацетальдегид, муравьиную кислоту → истечение жидкой фазы на подстилающую поверхность → испарение опасного вещества с поверхности пролива, с образованием горячего/токсичного облака → дрейф облака с



образованием взрывоопасной зоны/токсической волны → воспламенение облака (взрыв), пожар пролива при наличии источника зажигания → воздействие барических, токсических и термических нагрузок на людей, оборудование, здания и сооружения.

Сценарий С3. Полное разрушение колонного оборудования содержащего формалин, метанол → выброс опасного вещества → образование первичного горючего/токсичного облака → пролив жидкой фазы на подстилающую поверхность → испарение опасного вещества с поверхности пролива с образованием вторичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсической волны → воспламенение облака (взрыв, огненный шар), пожар пролива при наличии источника зажигания → воздействие барических, токсических и термических нагрузок на людей, оборудование, здания и сооружения.

Любой сценарий возникновения аварии начинается с инициирующего события (утечки различной интенсивности), которое может возникнуть с некоторой частотой [2].

Вероятности разгерметизации технологического оборудования определялись на основании статистических данных, приведенных, а также при помощи научно-технической и справочной литературы. Частичная выборка из используемых работ приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты реализации различных вариантов разгерметизации технологического оборудования

Наименование оборудования	Иницирующее аварийное событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год <sup>-1</sup>
1	2	3	4
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	4.0E-05
		12.5	1.0E-05
		25	6.2E-06
		50	3.8E-06
		100	1.7E-06
		Полное разрушение	3.0E-07

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Насосы центробежные	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	5	4.3E-03
		12.5	6.1E-04
		25	5.1E-04
		50	2.0E-04
		Диаметр подводящего/отводящего трубопровода	1.0E-04
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному	Разгерметизация с последующим истечением жидкости	25	8.8E-05
		50	1.2E-05
		Полное разрушение	5.0E-06
Соединительные рукава при сливе/наливе вагон-цистерн	Разрыв с последующим истечением жидкости	Полное разрушение	1E-02 на 1 рукав в год

В процессе анализа аварийных ситуаций рассматривалась полная, а также частичная (отверстие диаметром 25 мм) разгерметизация оборудования [3].

Результаты анализа возможных последствий разгерметизации оборудования, содержащего опасные среды, приведены в таблице 2 в виде указания возможного вида аварий, их последствий и количества веществ, способных участвовать в аварии.

Таблица 2 – Количество опасного вещества, участвующего в аварии

№ блока	Оборудование	Характер разгерметизации	Количество вещества в выбросе *, кг	Возможные последствия *
1	2	3	4	5
Блок №1	Вагон-цистерна (модель 15-1458)	Полное разрушение (сценарий С1)	ПГФ <sub>2</sub> = 794.8 ЖФ= 53200.0 (ацетальдегид)	В, ТВ, ВЗ ПП
		Частичная разгерметизация (сценарий С2)	ПГФ <sub>2</sub> = 436.5 ЖФ= 3000.4 (ацетальдегид)	В, ТВ, ВЗ ПП
Блок №3	Емкость	Полное разрушение (сценарий С1)	ПГФ <sub>2</sub> = 520.5 ЖФ= 63000.0 (ацетальдегид)	В, ТВ, ВЗ ПП

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
		Частичная разгерметизация (сценарий С2)	ПГФ <sub>2</sub> = 436.5 ЖФ= 3000.4 (ацетальдегид)	В, ТВ, ВЗ ПП
	Емкость	Полное разрушение (сценарий С1)	ПГФ <sub>1</sub> = 0.5 (формальдегид) ПГФ <sub>2</sub> = 14.5 ЖФ= 445000.0 (формалин)	ОШ, В, ТВ, ВЗ ПП
		Частичная разгерметизация (сценарий С2)	ПГФ <sub>2</sub> = 2.3 (формальдегид) ЖФ= 6550.5 (формалин)	В, ТВ, ВЗ ПП
Блок №7	Колонна	Полное разрушение колонны (сценарий С3)	ПГФ <sub>1</sub> = 589.0 (метанол) ПГФ <sub>2</sub> = 37.8 (формальдегид) ЖФ= 15951.0 (формалин)	ОШ, В, ТВ, ВЗ ПП
		Частичная разгерметизация куба (сценарий С2)	ПГФ <sub>2</sub> = 6.6 (формальдегид) ЖФ= 2408.4 (формалин)	В, ТВ, ВЗ ПП
<p>Примечание: ПГФ<sub>1</sub> – парогазовая фаза, образующая первичное облако (газовая фаза, содержащаяся в оборудовании и/или поступившая от смежных аппаратов по прямому и обратному потокам, а также образующаяся за счет энергии взрыва тротила при теракте);</p> <p>ПГФ<sub>2</sub> – парогазовая фаза, образующая вторичное облако за счет испарения с поверхности пролива;</p> <p>ПВС – пылевоздушная смесь;</p> <p>ЖФ – жидкая фаза;</p> <p>В – взрыв;</p> <p>ОШ – огненный шар;</p> <p>ТВ – токсволна;</p> <p>ПП – пожар пролива;</p> <p>ВЗ – взрывоопасная зона;</p> <p>ЗП – загазованность помещения;</p> <p>П – пролив опасного вещества.</p>				

При определении массы опасного вещества, поступившей в окружающее пространство при аварийной ситуации, учитывались также массы, поступающие по прямому и обратному потокам за время отсечки аварийного оборудования.

Дерево отказов, приводящих к разрушению технологического оборудования представлено на рисунке 4.

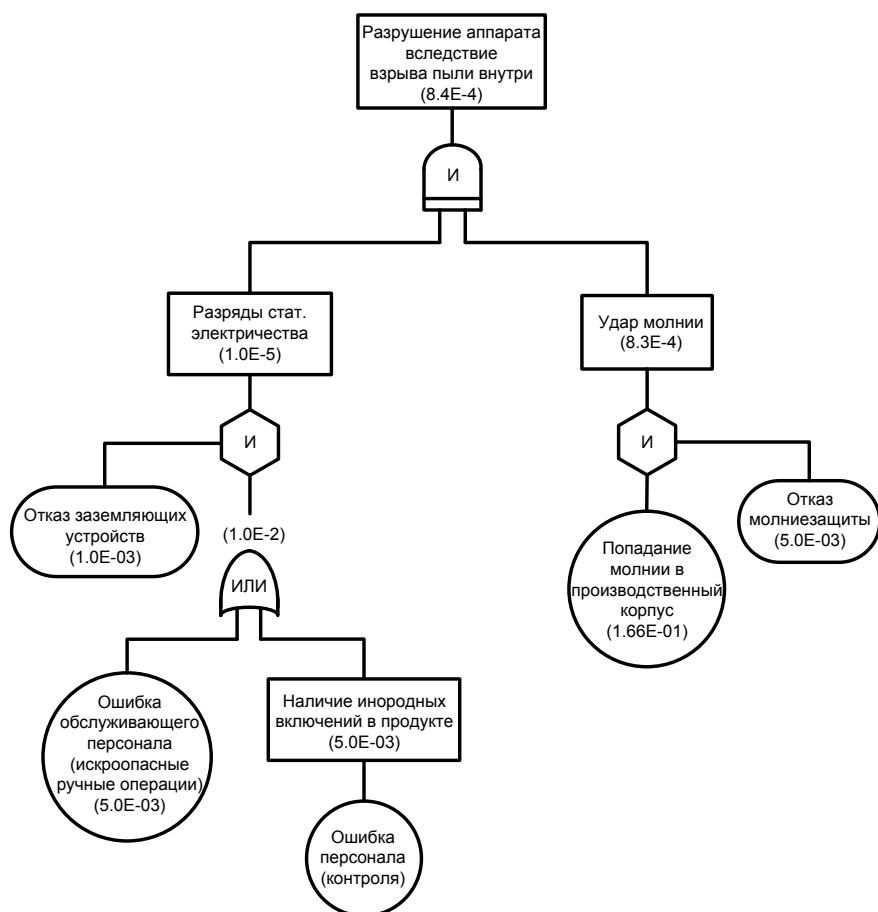


Рисунок 4 – Дерево отказов, приводящих к разрушению технологического оборудования

Результаты расчета вероятностей возникновения аварий представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета вероятностей возникновения аварий

№ блока	Оборудование	Характер разгерметизации	Вероятность в год
Блок №1	Вагон-цистерна	Полное разрушение (сценарий С1)	3.0E-07
		Частичная разгерметизация (сценарий С2)	6.2E-06
Блок №3	Емкость	Полное разрушение (сценарий С1)	3.0E-07
		Частичная разгерметизация (сценарий С2)	6.2E-06
	Емкость	Полное разрушение (сценарий С1)	5.0E-06
		Частичная разгерметизация (сценарий С2)	8.8E-05
	Емкость	Полное разрушение (сценарий С1)	5.0E-06
		Частичная разгерметизация (сценарий С2)	8.8E-05
Блок №7	Колонна	Полное разрушение колонны (сценарий С3)	3.0E-07
		Частичная разгерметизация куба (сценарий С2)	6.2E-06

Как видно из результатов расчетов, максимальный пиковый потенциальный риск, возникающий при авариях, связанных со взрывами, токсическими волнами и пожарами, соответствует величине  $8.8E-05$  1/год и наблюдается при авариях и разрушениях в блоке №3 (склад ЛВЖ и ГЖ).

### 3.2 Расчет поля опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

Для различных вариантов выбросов опасных веществ из оборудования оценены размеры возможных зон взрывоопасной загазованности, зон токсического поражения, смоделированы взрывы и пожары проливов.

Расчет полей (зон) потенциального риска приводится для аварий, связанных с образованием ударных нагрузок, пожаров проливов и факелов на наиболее опасном с точки зрения последствий оборудовании производства пентаэритрита, расположенном на открытой площадке (блоки №1, 3, 7).

Результаты расчета полей (зон) Блока №1 – сливо-наливная эстакада (корп. 1404) представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета полей (зон) Блока №1 – сливо-наливная эстакада (корп. 1404)

Параметр	Значение	
1	2	3
Оборудование – вагон-цистерна		
Вещество – ацетальдегид		
Взрыв облака ТВС		
Сценарий	C1	C2
Масса облака ТВС, кг	794.8	436.5
Масса горючего во взрывоопасных пределах в облаке ТВС, кг	11.1	5.9
Степень травмирования людей на расстоянии от эпицентра взрыва, м:		
летальная (> 100 кПа)	-	-
тяжелая (100÷60 кПа)	-	-
средняя (60÷40 кПа)	-	-
легкая (40÷20 кПа)	< 18.3	< 14.8

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Разрушение зданий и сооружений на расстоянии от эпицентра взрыва, м:		
полное (> 100 кПа)	-	
сильное (100÷40 кПа)	-	-
среднее (40÷20 кПа)	< 18.3	-
слабое (20÷10 кПа)	18.3 ÷	< 14.8
расстекление (5 кПа)	39.9	14.8 ÷ 32.3
	76.7	62.1
Пожар пролива		
Сценарий	C1	C2
Масса вещества, участвующего в аварии, кг	53200.0	2917.5
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	134.0	75.0
Эффективный диаметр пролива, м	13.1	9.8
Высота пламени, м	15.7	12.8

Результаты расчета полей (зон) Блока №3 – склад ЛВЖ и ГЖ (корп. 1392а) представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета полей (зон) Блока №3 – склад ЛВЖ и ГЖ (корп. 1392а)

Параметр	Значение	
	1	3
Оборудование – емкость		
Вещество – ацетальдегид		
Взрыв облака ТВС		
Сценарий	C1	C2
Масса облака ТВС, кг	520.5	436.5
Масса горючего во взрывоопасных пределах в облаке ТВС, кг	6.9	5.9
Степень травмирования людей на расстоянии от эпицентра взрыва, м:		
Летальная (> 100 кПа)	-	-
тяжелая (100÷60 кПа)	-	-
средняя (60÷40 кПа)	-	-
легкая (40÷20 кПа)	< 15.6	< 14.8
Разрушение зданий и сооружений на расстоянии от эпицентра взрыва, м:		
полное (> 100 кПа)	-	-
сильное (100÷40 кПа)	-	-
среднее (40÷20 кПа)	< 15.6	< 14.8
слабое (20÷10 кПа)	15.6 ÷ 34.1	14.8 ÷ 32.3
расстекление (5 кПа)	65.5	62.1
Пожар пролива		

Продолжение таблицы 5

1	2	3
Масса вещества, участвующего в аварии, кг	63000.0	2917.5
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	92.0	75.0
Эффективный диаметр пролива, м	10.8	9.8
Высота пламени, м	13.8	12.8
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:		
– ожог I степени (доза теплового излучения 120 кДж/м <sup>2</sup> )	2.6	2.5
– безопасное расстояние для человека в брезентовой одежде (интенсивность излучения 4.2 кВт/м <sup>2</sup> )	15.0	7.0
– болевой порог (интенсивность излучения 1.4 кВт/м <sup>2</sup> )	31.4	14.1
<b>Взрывоопасная зона</b>		
Сценарий	С1	
Масса вещества, участвующего в образовании ВЗ, кг	520.5	
Масса вещества во взрывоопасных пределах, кг	6.9	
Размеры взрывоопасной зоны, м:		
– длина по НКПВ	15.8	
– максимальная ширина по НКПВ	18.3	

Результаты расчета полей (зон) Блока №7 – ректификация конденсационного раствора и обезметаноливание формалина (корп. 1387) представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета полей (зон) Блока №7 – ректификация конденсационного раствора и обезметаноливание формалина (корп. 1387)

Параметр	Значение	
	2	3
Оборудование – колонна		
Вещество – метанол, формальдегид		
Взрыв облака ТВС		
Сценарий	С1	С2
Масса облака ТВС, кг	626.9	6.6
Масса горючего во взрывоопасных пределах в облаке ТВС, кг	418.4	–
Степень травмирования людей на расстоянии от эпицентра взрыва, м:		
летальная (> 100 кПа)	-	-
тяжелая (100÷60 кПа)	-	-
средняя (60÷40 кПа)	-	-
легкая (40÷20 кПа)	< 60.0	-
Разрушение зданий и сооружений на расстоянии от эпицентра взрыва, м:		
– полное (> 100 кПа)	-	-

Продолжение таблицы 6

1	2	3	
– сильное (100÷40 кПа)	< 60.0	-	
– среднее (40÷20 кПа)	60.0 ÷	-	
– слабое (20÷10 кПа)	130.8	-	
– расстекление (5 кПа)	251.4	-	
<b>Огненный шар</b>			
Сценарий		C1	
Масса вещества, участвующего в образовании огненного шара, кг	589.0		
Эффективный диаметр огненного шара, м	42.9		
Время существования огненного шара, с	6.4		
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от центра огненного шара, м:			
– ожог III степени (доза теплового излучения 320 кДж/м <sup>2</sup> )	35.7		
– ожог II степени (доза теплового излучения 220 кДж/м <sup>2</sup> )	46.3		
– ожог I степени (доза теплового излучения 120 кДж/м <sup>2</sup> )	63.9		
– безопасное расстояние для человека в брезентовой одежде (интенсивность излучения 4.0 кВт/м <sup>2</sup> )	117.9		
– болевой порог (интенсивность излучения 1.4 кВт/м <sup>2</sup> )	173.4		
<b>Взрывоопасная зона</b>			
Сценарий		C1	
Масса вещества, участвующего в образовании ВЗ, кг	626.9		
Масса вещества во взрывоопасных пределах, кг	418.4		
Размеры взрывоопасной зоны, м:			
– длина по НКПВ	164.5		
– максимальная ширина по НКПВ	20.0		
<b>Вещество – метанол, формалин</b>			
<b>Пожар пролива</b>			
Сценарий		C1	C2
Масса вещества, участвующего в аварии, кг	15951.0	2408.4	
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	286.6	43.3	
Эффективный диаметр пролива, м	19.1	7.4	
Высота пламени, м	20.4	10.6	
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:			
– ожог I степени (доза теплового излучения 120 кДж/м <sup>2</sup> )	8.5	4.2	
– безопасное расстояние для человека в брезентовой одежде (интенсивность излучения 4.2 кВт/м <sup>2</sup> )	20.9	11.0	
– болевой порог (интенсивность излучения 1.4 кВт/м <sup>2</sup> )	44.9	23.1	

На рисунках 5-10 приведены ситуационные планы технологических блоков с отображением зон возможного поражения для наиболее опасных по сценариям аварий, сопровождающихся выбросом (истечением) горючих веществ с образованием воздушной ударной волны от взрыва облака ТВС, огненного шара, пожара пролива и взрывоопасной зоны.



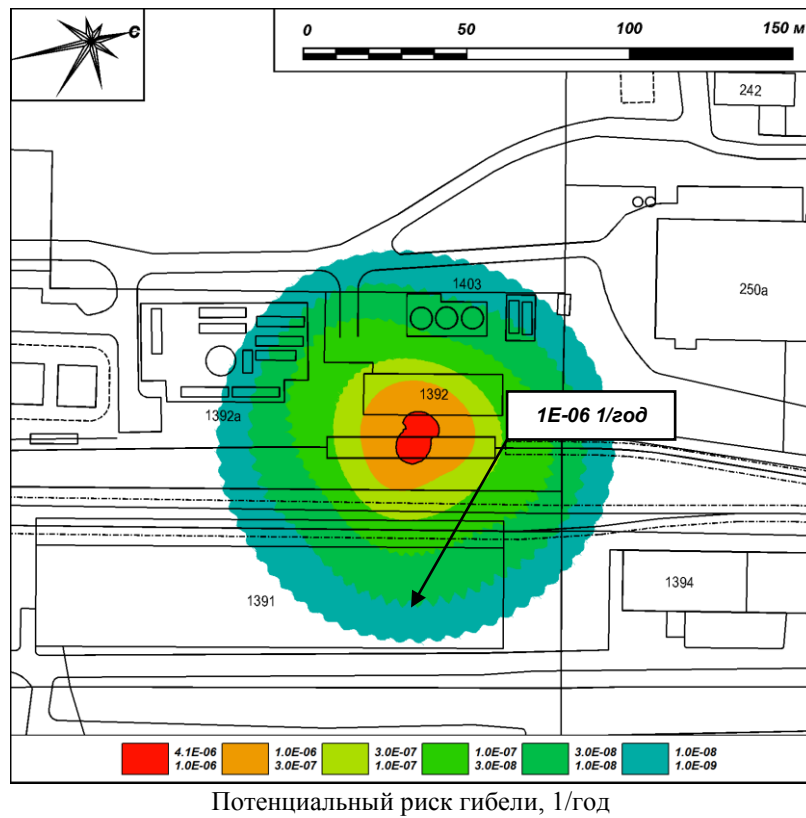


Рисунок 5 – Поле потенциального риска при авариях в блоке №1

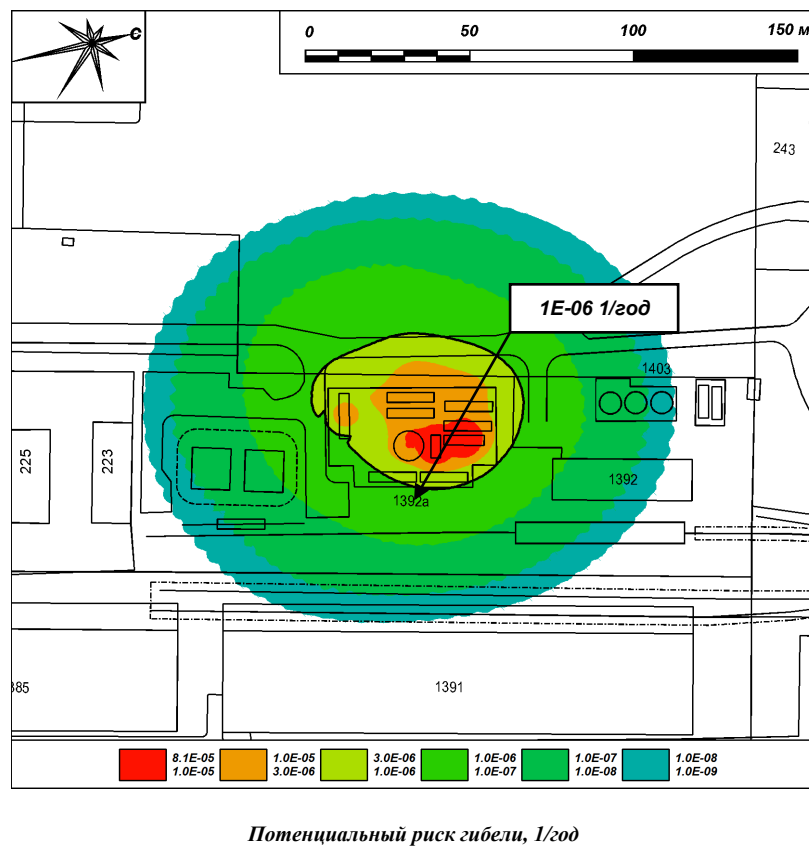


Рисунок 6 – Поле потенциального риска при авариях в блоке №3

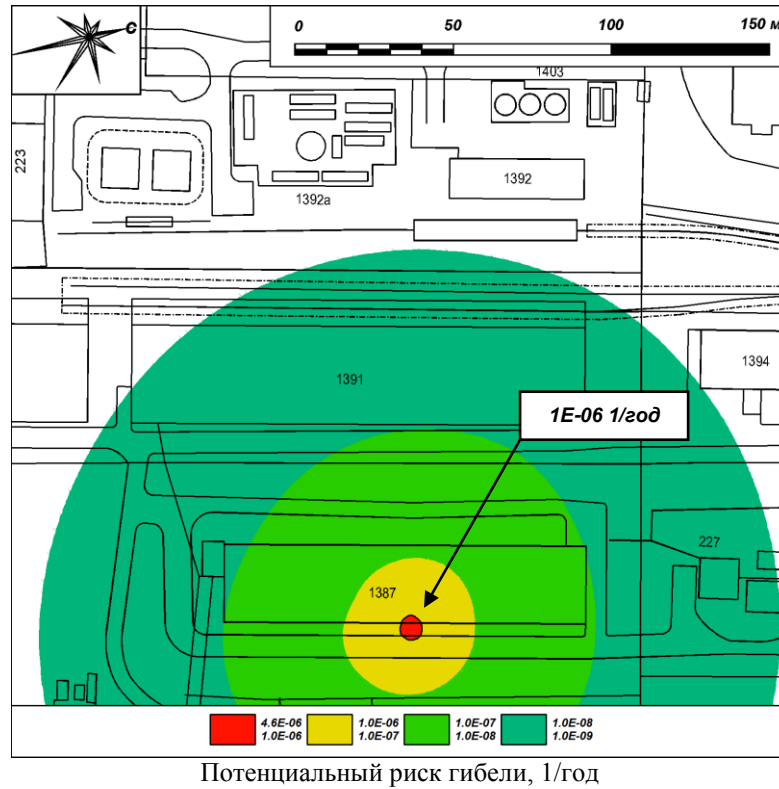


Рисунок 7 – Поле потенциального риска при авариях в блоке № 7

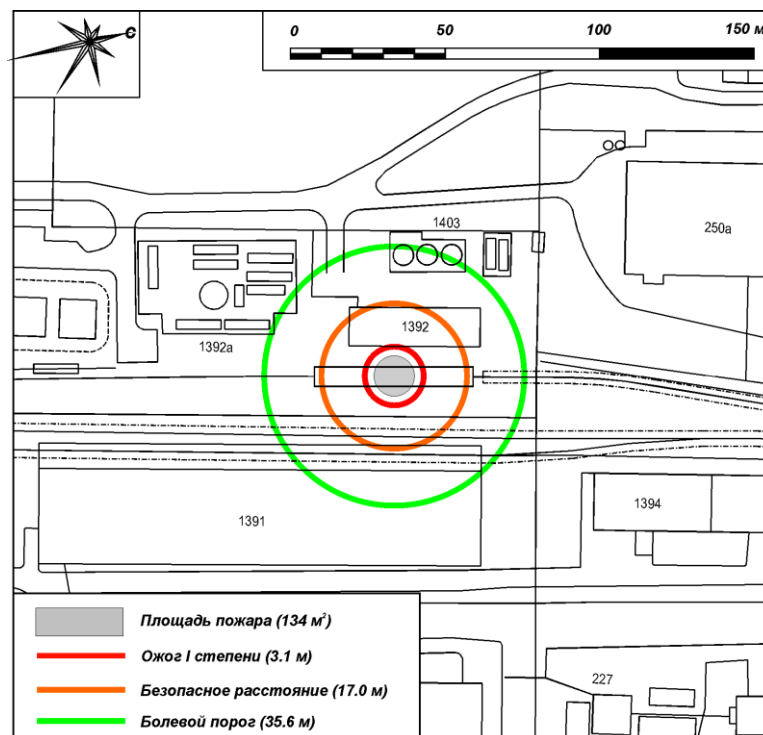


Рисунок 8 – Поражающее действие пожара пролива при полном разрушении вагон-цистерны с ацетальдегидом (сценарий С1)

Краткое описание сценария аварии. Разрушение вагон-цистерны сопровождается выбросом в поддон 53.2 т ацетальдегида с образованием пожара пролива. Высота пламени – 15.7 м.

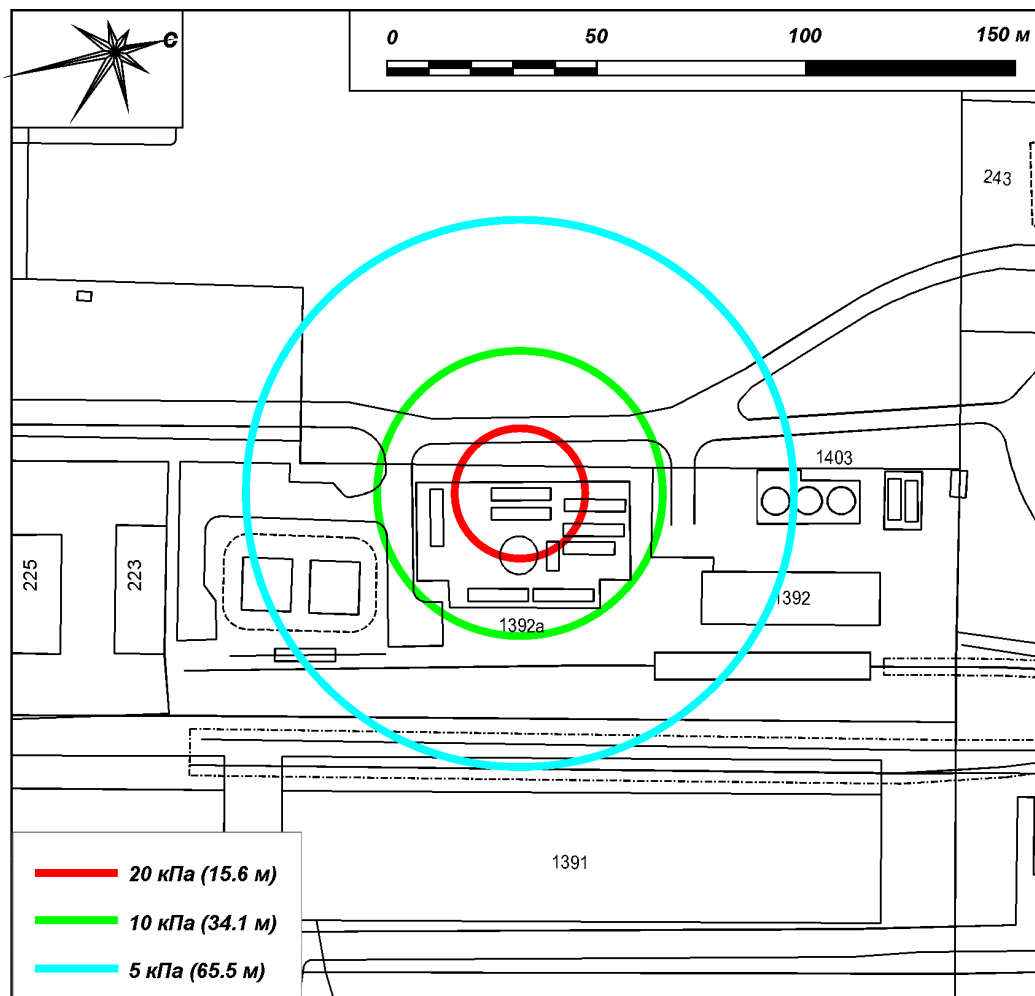


Рисунок 9 – Поражающее действие взрыва при полном разрушении емкости с ацетальдегидом (сценарий С2)

Краткое описание сценария аварии. Разрушение емкости сопровождается выбросом в поддон 63 т ацетальдегида с формированием облака ТВС массой 520.5. Режим взрывного превращения – дефлаграция. Скорость распространения видимого фронта пламени – 200 м/с. Максимальное развиваемое давление в эпицентре взрыва – 36.9 кПа. Коэффициент участия газа во взрыве – 0.013.

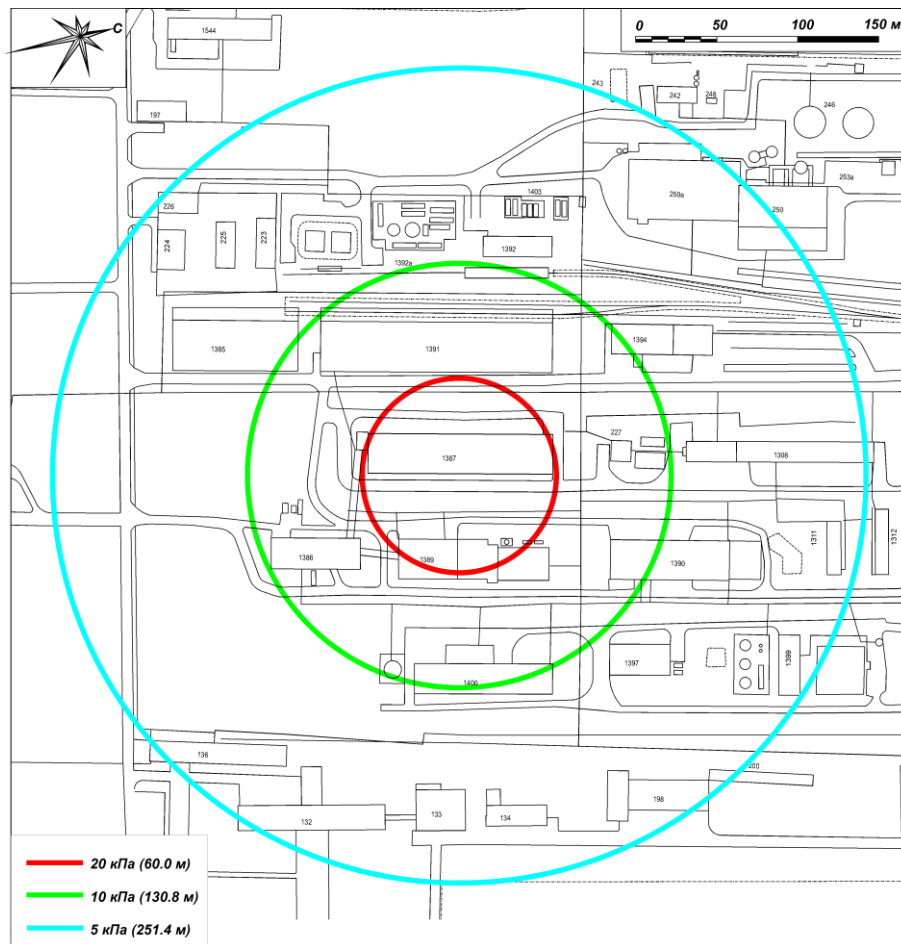


Рисунок 10 – Поражающее действие взрыва при полном разрушении колонны обезметаноливания формалина (сценарий С2))

Краткое описание сценария аварии. Разрушение колонны сопровождается выбросом в поддон 16577.8 кг смеси формалина с метанолом с формированием облака ТВС массой 626.8. Режим взрывного превращения – дефлаграция. Скорость распространения видимого фронта пламени – 200 м/с. Максимальное развиваемое давление в эпицентре взрыва – 36.9 кПа. Коэффициент участия газа во взрыве – 0.668.

Как видно из результатов расчетов, максимальный пиковый потенциальный риск, возникающий при авариях, связанных со взрывами, токсическими волнами и пожарами, соответствует величине  $8.1E-05$  1/год и наблюдается при авариях и разрушениях в блоке №3 (склад ЛВЖ и ГЖ) (рис. 20). Зона нормативного риска ( $1E-06$  1/год) в этом случае удалена на расстояние  $25\div 38$  м от эпицентра аварии. Таким образом, площадь зоны

повышенного риска ( $>1E-06$  1/год) при авариях в блоке №3 имеет наибольшие размеры и составляет  $2496 \text{ м}^2$ .

Вывод.

Наименьшие масштабы зон потенциального риска присущи авариям с ацетальдегидом на эстакаде слива-налива (блок №1). Максимальный пиковый потенциальный риск в этом случае оценивается величиной  $4.1E-06$  1/год, граница зоны нормативного риска при этом удалена на расстояние до 10 м от эпицентра аварии.

Наиболее крупная по масштабам зона взрывоопасной загазованности образуется при аварии в блоке №7 (полное разрушение колонны обезметаноливания формалина поз. 101). В этом случае глубина дрейфа взрывоопасного облака может составить свыше 164 м, а ширина и высота пространственной зоны, внутри которой возможно существование взрывоопасных концентраций, может составить свыше 20 и 8 м соответственно (все расчеты для наиболее неблагоприятных условий рассеивания). Взрывоопасным облаком может быть накрыто место забора воздуха системой приточной вентиляции корп. 1387 и 1392. Наиболее вероятным режимом сгорания такого облака следует признать хлопок (вспышку). Вероятность взрыва части облака, засасываемой системой приточной вентиляции в помещение, в котором работает невзрывозащищенное электрооборудование, очень высока.

### **3.3 Оценка последствий воздействия опасных факторов на работников для различных сценариев его развития, расчет индивидуального пожарного риска**

Оценка риска поражения людей заключалась в определении пространственного распределения вероятности смертельного воздействия поражающих факторов аварий на человека в течение года (потенциальный территориальный риск).

Промышленный объект может иметь различные источники опасности, каждый из которых формирует свои зоны превышения предельного допустимого риска. Расчет полей территориального риска производился в каждой точке пространства (с учетом шага разбиения) путем суммирования воздействий рассматриваемых источников опасностей.

Потенциальный риск может быть определен следующим образом:

$$R_{\text{пот}}(x, y) = P_a \cdot \sum_i \alpha_i \cdot P_i(x, y) \quad (1)$$

где  $P_a$  – вероятность возникновения аварийной ситуации;

$\alpha_i$  – условная вероятность возникновения определенного сценария аварии;

$P_i$  – вероятность нанесения ущерба реципиенту в определенном сценарии аварии.

Ввиду того, что вызванная воздействием поражающих факторов аварий преждевременная гибель человека является исключительным событием, в практике при консервативных оценках под вероятностью  $P_i$  нанесения ущерба реципиенту, как правило, подразумевают вероятность гибели индивидуума.

Потенциальный риск отражает максимально возможный уровень риска от рассматриваемого объекта.

Значения вероятностей возникновения аварии  $P_a$ , возможные варианты развития аварии (взрыв облака ТВС, пожар пролива ЛВЖ и т.д.), масса вещества, способная принять участие в аварии, и распределение вероятностей всех возможных вариантов выброса вещества определяются в процессе анализа опасности объекта.

Условная вероятность гибели человека от различных поражающих факторов (ударной волны, токсической волны и теплового воздействия пламени) рассчитывалась по соответствующим Probit-функциям  $Pr$ , полученным путем

регрессионной обработки экспериментальных данных при допущении, что график зависимости отклика смертности от логарифма поражающего фактора (импульса и избыточного давления во фронте ударной волны для взрывов, теплового потока и времени экспозиции для пожаров проливов и огненных шаров, концентрации и времени экспозиции для токоволн) имеет нормальную форму распределения и выражается следующим уравнением:

$$Pr = b_0 + b_1 \cdot \ln(\Pi\Phi); \quad Q_c = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du, \quad (2)$$

где  $Pr$  – пробит;

$b_0, b_1$  – коэффициенты регрессии;

$\Pi\Phi$  – поражающий фактор;

$Q_c$  – условная вероятность поражения (отклик смертности).

Условная вероятность поражения определяется уровнем поражающих факторов на определенном расстоянии от места (эпицентра) аварии.

При расчете полей риска для аварий, связанных со взрывами, пожарами проливов и токоволнами, исходные вероятности возникновения аварий умножаются на коэффициент, полученный из предположения равновероятного развития аварии, связанной с выбросом опасного вещества по одному из возможных для данного объекта сценариев: взрыв, пожар пролива или рассеяние без горения (токоволна). Если возможны три исхода, то коэффициент принимается равным 0.33, если два – 0.5.

Поле интегрального потенциального риска от всех рассмотренных аварий в производстве пентаэритрита представлено на рис. 22. Установлено, что максимальный потенциальный риск достигает значения  $8.1E-05$  1/год (за счет вклада потенциального риска от блока №3). Общая площадь зоны повышенного риска в результате аварий составляет  $2738 \text{ м}^2$ .

Среднее значение потенциального риска гибели людей внутри опасной зоны составляет  $5.8E-06$  1/год, что значительно ниже рекомендуемого

предельно допустимого уровня риска для действующих объектов ( $1.0E-04$  1/год), а также ниже фоновых показателей риска для России ( $9.8E-05 \div 6.3E-04$  1/год) и может считаться приемлемым.

По барической, токсической и пожарной опасности, также по площади зоны повышенного риска технологические блоки производства пентаэритрита могут быть ранжированы следующим образом (в порядке убывания), который представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Ранжирование технологических блоков производства пентаэритрита по барической, токсической и пожарной опасности

По барической опасности	По токсической опасности	По пожарной опасности	По площади зоны повышенного риска
Открытая площадка	1. Блок №1	1. Блок №3	1. Блок №3
1. Блок №7	2. Блок №3	2. Блок №7	2. Блок №1
2. Блок №1	3. Блок №7	3. Блок №1	3. Блок №7
3. Блок №3	-	-	-

Как следует из результатов расчетов, при максимальной гипотетической аварии в производстве пентаэритрита с точки зрения реализации взрывных нагрузок (полное разрушение колонны обезметаноливания формалина с последующим взрывным превращением облака ТВС) остекление в зданиях разрушится на расстоянии свыше 251 м. Травмирование людей, находящихся на открытой площадке, ударной волной взрыва может наблюдаться в радиусе до 60 м от эпицентра взрыва.

Вывод: производственное здание может подвергнуться полному разрушению, вероятность тяжелых травм среди персонала может достичь 20%, вероятность травм средней степени тяжести – 60%.

Среднее значение потенциального риска гибели людей внутри опасной зоны составляет  $5.8E-06$  1/год, что значительно ниже рекомендуемого предельно допустимого уровня риска для действующих объектов ( $1.0E-04$  1/год), а также ниже фоновых показателей риска для России ( $9.8E-05 \div 6.3E-04$  1/год) и может считаться приемлемым.



#### 4 Методы повышения огнестойкости материалов и конструкций по горючести

В соответствии с требованиями Федерального закона Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» в редакции Федерального закона №117-ФЗ от 10 июля 2012 г. «О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» предел огнестойкости строительных конструкций для зданий и сооружений II степени огнестойкости должен быть не менее значений [19], указанных в таблице 8.

Таблица 8 – Пределы огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60

Для повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» необходимо провести их огнезащитную обработку.

Огнезащита стальных металлоконструкции может быть выполнена различными способами:

- обеспечения защитного слоя путем обетонирования, обкладки кирпичом, оштукатуривания;

- нанесение огнезащитных вспучивающихся покрытий (красок, мастик);
- устройство теплоизолирующих экранов (облицовка из плитных и листовых материалов).

Схема методов и средств повышения огнестойкости материалов и конструкций по горючести представлена на рисунке 11.

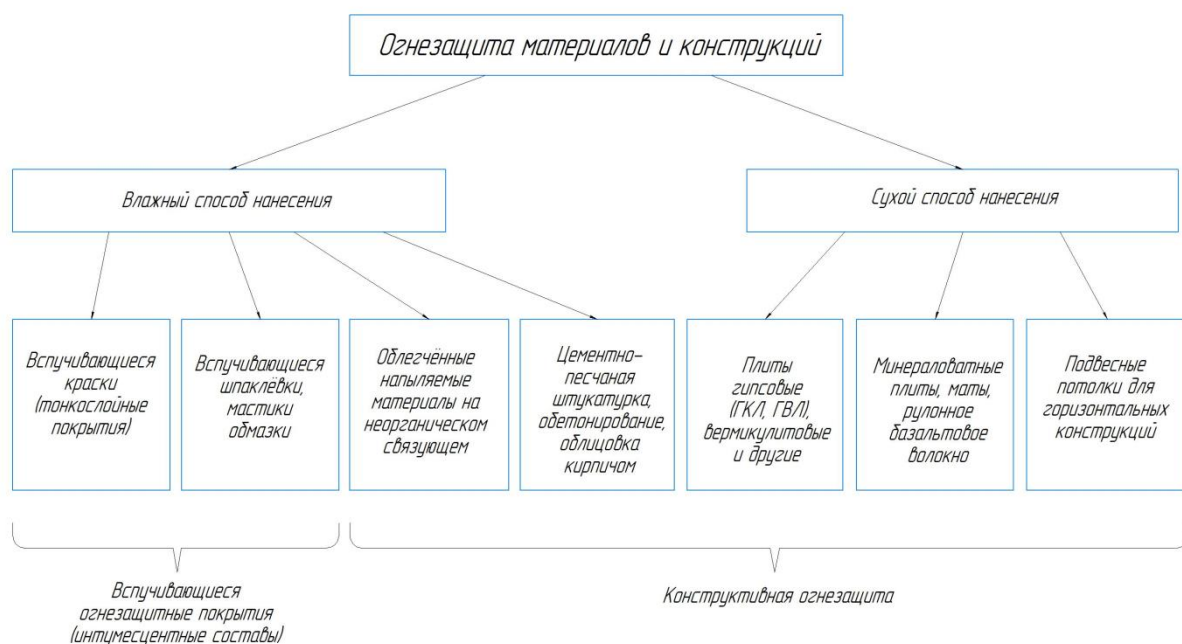


Рисунок 11 – Схема методов и средств повышения огнестойкости материалов и конструкций по горючести

Все эти способы огнезащиты направлены на повышение пожарной безопасности за счет увеличения огнестойкости металлических конструкций и элементов. При использовании такого способа, как оштукатуривание, предел огнестойкости металлических конструкций увеличивается до 0,7 ч.

При экономически обоснованном соотношении величины вероятного ущерба и расходов на противопожарные мероприятия, вспучивающиеся огнезащитные покрытия являются наиболее оптимальным вариантом для повышения предела огнестойкости металлических конструкций. Огнезащитные свойства вспучивающихся покрытий проявляются за счет

увеличения толщины слоя и изменения теплофизических характеристик при тепловом воздействии в условиях пожара. При воздействии высоких температур покрытия вспучиваются, увеличиваясь в объеме в 25-30 раз, образуя пористый термоизолирующий слой. Благодаря низкой теплопроводности пористый слой предотвращает нагрев металла.

Вспучивающиеся огнезащитные краски обладают рядом преимуществ по отношению к традиционным средствам огнезащиты.

Применение красок облегчает и упрощает проведение работ по их нанесению, т.к. этот процесс является менее трудоемким по сравнению с другими методами огнезащиты (обетонированием, оштукатуриванием, обкладкой кирпичом и т.п.). При этом сокращаются сроки строительства, снимаются дополнительные нагрузки на конструкции. Фактура поверхности и эстетичный внешний вид покрытий, полученных на основе вспучивающихся красок, позволяют оставлять в интерьерах зданий открытые металлические конструкции.

Тонкослойные огнезащитные покрытия скрывают в себе механизм сложных физико-химических процессов, начинающих свое действие при возникновении пожара.

При тепловых воздействиях вследствие физических и химических процессов происходит образование вспененного слоя, представляющего собой закоксовавшийся расплав негорючих веществ. Эти пенистые угольные слои обладают теплоизолирующими свойствами и обеспечивают эффективную защиту материалов от огня.

Вывод:

Огнезащитный материал может наноситься на защищаемую поверхность распылением, валиком или кистью. Оптимальным является метод безвоздушного или воздушного распыления с принудительной подачей материала. Допускается нанесение материала на металлические грунтованные поверхности. При нанесении огнезащитного материала температура окружающего воздуха не должна быть ниже минус 5 °С.

## 5 Разработка мероприятий по снижению пожарных рисков

Наиболее вероятными аварийными ситуациями на рассматриваемом объекте являются ситуации, обусловленные частичной разгерметизацией оборудования (разгерметизацией фланцевых соединений, образованием негерметичностей в местах присоединения трубопроводов, дефектами сварных швов).

Для предотвращения развития аварии, локализации выбросов вредных веществ в атмосферу и для снижения последствий пожара на объекте необходимо предусмотреть следующие мероприятия:

- ограничение растекания жидкости по производственным площадкам (отбортовка площадок);
- возможность аварийного освобождения резервуаров (перекачка из одного резервуара в другой компрессорами);
- установка быстродействующих отсечных клапанов с дистанционным и автоматическим управлением;
- защита резервуаров и трубопроводов от превышения давления установкой предохранительных клапанов со сбросом взрывопожароопасной среды в систему организованного сжигания (на свечу);
- установка сигнализаторов довзрывных концентраций во всех производственных зонах;
- охлаждение резервуаров при пожаре с помощью стационарной системы орошения и лафетов;
- ограничение распространения пожара с помощью противопожарных расстояний между сооружениями;
- устройство подъездных путей для подразделений пожарной охраны.

При авариях в технологических блоках могут иметь место пожары проливов. Опасное тепловое излучение этих пожаров не выходит за пределы

установки и представляет опасность только на территории рассматриваемого объекта [12].

Для повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» необходимо провести их огнезащитную обработку. Огнезащитный материал может наноситься на защищаемую поверхность распылением, валиком или кистью. Оптимальным является метод безвоздушного или воздушного распыления с принудительной подачей материала.

В качестве выбора огнезащитного материала и способа повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» рассмотрим современные решения среди патентов.

Рассмотрим изобретение № RU2415896C2 «Огнезащитный состав», автор – Авдеев Виктор Васильевич (RU), патентообладатель – Институт новых углеродных материалов и технологий (ЗАО) (ИНУМиТ (ЗАО)) (RU), подача заявки 26.02.2009 [13].

«Изобретение относится к области строительных материалов и может быть использовано для конструктивной огнезащиты стальных, железобетонных строительных конструкций» [13].

«Огнезащитный состав в виде сухой смеси, затворяемой водой для нанесения на поверхности стальных и железобетонных конструкций, характеризующийся тем, что содержит портландцемент, каолин, релаксированный органический полимер, эфир целлюлозы и вспененный вермикулит при следующем соотношении компонентов, мас. %: Портландцемент 25,0-50,0 Каолин 8,0-18,0 Релаксированный органический полимер 1,5-3,5 Эфир целлюлозы 0,1-0,8 Вспененный вермикулит Остальное» [13].

«Использование релаксированного органического полимера позволяет изготавливать «ОГРАКС-НШ» в виде однокомпонентного материала, при этом не происходит увеличения плотности покрытия огнезащитного

материала «ОГРАКС-НШ» и полученное покрытие обладает достаточной атмосферостойкостью. Атмосферостойкость обеспечивается наличием в сополимере достаточного количества мономерных участков эфиров акриловой кислоты. Согласно данным ускоренных климатических испытаний, покрытие огнезащитного материала «ОГРАКС-НШ» пригодно для эксплуатации в условиях открытой атмосферы умеренного климата с ориентировочным сроком службы 10 лет, в условиях ограниченной атмосферы умеренного климата 25 лет» [13].

«Благодаря заявленному содержанию компонентов, покрытие на основе состава «ОГРАКС-НШ» представляет собой негорючую теплоизоляционную систему, обладающую высокими теплозащитными свойствами, что позволяет великолепно предохранять строительные конструкции от воздействия теплового потока и пламени» [13].

При всех положительных свойствах представленное изобретение № RU2415896C2 «Огнезащитный состав» имеет недостатки, которые вынуждают отказаться от использования в качестве конструктивной огнезащиты стальных конструкций сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс», а именно:

- данный огнезащитный состав представляет собой прежде всего штукатурный состав, способ на нанесения огнезащитного состава подразумевает нанесение его шпателем, что не обеспечит равномерного покрытия составом в удалённых местах (углах, стыках);
- применение цемента (25-50% от массы) не позволит огнезащитному составу сопротивляться технологической среде производства.

Рассмотрим изобретение № RU2718870C1 «Огнезащитная вспучивающаяся краска», автор – Азмухаметов Борис Дарвинович (RU), патентообладатель – Общество с ограниченной ответственностью «ОГНЕЗАЩИТНЫЕ РЕШЕНИЯ» (RU), подача заявки 08.11.2019 [14].

«Изобретение относится к огнезащитным лакокрасочным покрытиям, которые могут быть использованы для огнезащиты несущих конструкций» [14].

«Задачей изобретения является разработка эффективной однокомпонентной огнезащитной вспучивающейся краски» [14].

«Технический результат заключается в обеспечении тонкослойного покрытия, способствующего повышению огнестойкости материала, а также в повышении удобства изготовления и нанесения, отсутствии вредных химических соединений при длительном нагреве, сохранении свойств при хранении в течение гарантийного срока» [14].

«Технический результат достигается тем, что однокомпонентная огнезащитная вспучивающаяся краска содержит связующее, меламин в качестве вспенивающего агента и гидроксид алюминия в качестве антипирена, при этом она дополнительно содержит гидроксид калия в качестве ингибитора коагуляции и аэросил в качестве регулятора вязкости состава и неионогенное поверхностно-активное вещество, а в качестве связующего - жидкое калиевое стекло» [14].

«В разрабатываемом составе механизм огнезащиты реализуется не только за счет образования терморасширенного вспученного слоя, но и за счет значительного термопоглощения при эндотермическом разложении наполнителя (химическая реакция с поглощением теплоты)» [14].

«При проведении испытаний для металла с приведенной толщиной 3,4 мм испытания выдержал образец со слоем краски толщиной 1,1 мм, как удовлетворивший условиям испытаний, для образцов металла с приведенной толщиной 5,8 мм испытания выдержал образец со слоем краски толщиной 2,2 мм, как удовлетворивший условиям испытаний» [14].

«Преимуществом заявляемого решения является обеспечение тонкослойного покрытия, высокая огнезащитная эффективность, отсутствие вредных химических соединений при длительном нагреве. Заявляемый

состав может наноситься на поверхности различными способами, включая механический» [14].

«Огнезащитный состав похож по внешнему виду на обычные лакокрасочные покрытия и выполняет аналогичные защитно-декоративные функции» [14].

«При воздействии высоких температур толщина и объем вспучивающегося покрытия увеличиваются во много раз за счет создания негорючего и твердого вспененного слоя (кокса), который является преградой для распространения огня, высоких температур и защищает несущие конструкции от потери несущей способности» [14].

Вывод: предложенная огнезащитная вспучивающаяся краска является эффективным огнезащитным материалом и способом повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс».



## **6 Разработка регламентированной процедуры по охране труда**

Порядок организации предварительных и периодических медицинских осмотров в организации определяется Приказом Минздрава РФ от 28.01.2021 № 29Н «Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, Перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры» [6].

«Предварительные осмотры проводятся при поступлении на работу на основании направления на медицинский осмотр (далее – направление), выданного лицу, поступающему на работу, работодателем (его уполномоченным представителем)» [6].

«Направление подписывается уполномоченным представителем работодателя с указанием его должности, фамилии, инициалов (при наличии)» [6].

«Направление выдается лицу, поступающему на работу, под роспись. Направление может быть сформировано в электронном виде с использованием электронных подписей работодателя и лица, поступающего на работу» [6].

«Работодатель (его представитель) обязан организовать учет выданных направлений, в том числе в электронном виде» [6].

«Медицинская организация, проводящая медицинский осмотр, может получить в рамках электронного обмена медицинскими документами результаты ранее проведенной диспансеризации и других медицинских осмотров лица, поступающего на работу, до его явки на медицинский осмотр» [6].

«На лицо, поступающее на работу, проходящего предварительный осмотр, в медицинской организации оформляется медицинская карта, в которую вносятся заключения врачей-специалистов, результаты лабораторных и иных исследований, заключение по результатам предварительного осмотра, ведение которой может осуществляться в форме электронного документа» [6].

«Предварительный осмотр является завершенным в случае наличия заключений врачей-специалистов и результатов лабораторных и функциональных исследований в объеме, установленном договором между медицинской организацией и работодателем» [6].

«По окончании прохождения работником предварительного осмотра медицинской организацией оформляется заключение по его результатам» [6].

«На основании списка работников, подлежащих периодическим осмотрам, составляются поименные списки работников, подлежащих периодическим осмотрам» [6].

«Перед проведением периодического осмотра работодатель (его уполномоченный представитель) обязан вручить работнику, направляемому на периодический осмотр, направление на периодический медицинский осмотр» [6].

«Медицинская организация в срок не позднее 10 рабочих дней с момента получения от работодателя поименного списка (но не позднее чем за 14 рабочих дней до согласованной с работодателем даты начала проведения периодического осмотра) на основании поименного списка составляет календарный план проведения периодического осмотра» [6].

«Для прохождения периодического медицинского осмотра работник обязан прибыть в медицинскую организацию в день, установленный календарным планом» [6].

Схема процедуры организации предварительных и периодических медицинских осмотров изображена на рисунке 12.

Входные данные	Процесс 1. Ответственный 2. Исполнитель	Выходные данные	Комментарии
----------------	---	-----------------	-------------

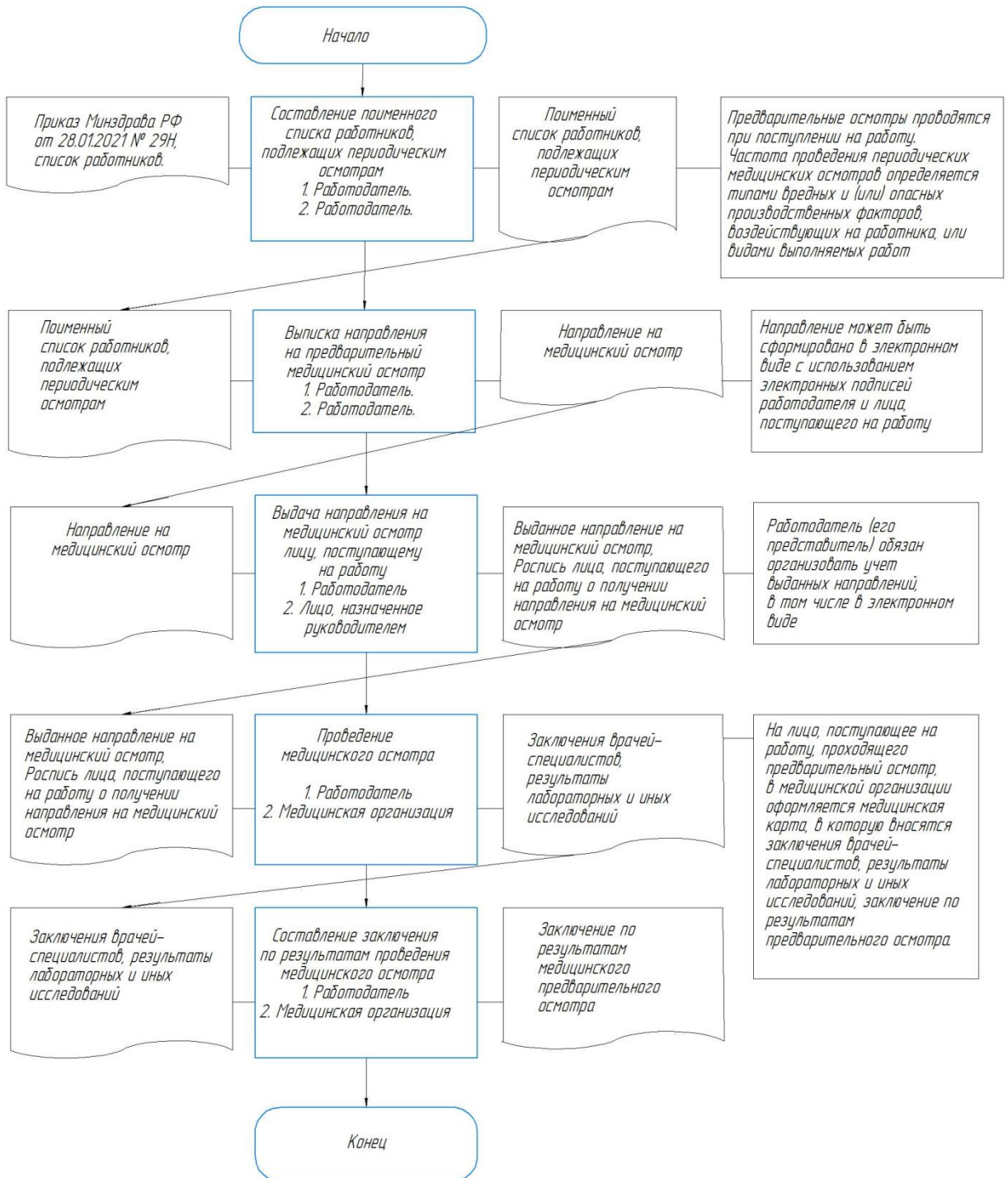


Рисунок 12 – Схема процедуры организации периодических медицинских осмотров

«Периодический осмотр является завершенным в случае наличия заключений врачей-специалистов и результатов лабораторных и функциональных исследований в объеме, установленном договором между медицинской организацией и работодателем» [6].

«По окончании прохождения работником периодического осмотра медицинской организацией оформляется Заключение по его результатам» [6].

«Частота проведения периодических медицинских осмотров определяется типами вредных и (или) опасных производственных факторов, воздействующих на работника, или видами выполняемых работ» [6].

Вывод: проведение предварительных медицинских осмотров позволяет предприятию осуществить отбор претендентов на рабочие места по состоянию здоровья, а проведение периодического медицинского осмотра – отслеживать состояние здоровья персонала.

## **7 Разработка регламентированной процедуры по охране окружающей среды и экологической безопасности**

Порядок проектирования системы управления экологической безопасностью на предприятии определяется следующими нормативно-правовыми актами:

- ФЗ от 10.01.2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [7];
- ФЗ от 24.06.1998 г. №89-ФЗ «об отходах производства и потребления» [8];
- ГОСТ Р 54906-2012 «Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования» [16].

«Формирование экологической политики предприятия базируется на следующих основных положениях:

- учет результатов комплексной экологической оценки при развитии инфраструктуры территории;
- идентификация экологически опасных факторов (рисков);
- регулярный контроль параметров техногенного воздействия на компоненты окружающей среды (анализ состояния);
- состояние здоровья населения» [16].

«Система экологической безопасности, имеющая многоуровневый характер, структурно рассматривается в единой системе стратегического планирования организации» [16].

«Стратегия обеспечения экологической безопасности концентрируется на эффективных краткосрочных мероприятиях, чтобы обеспечить заметные улучшения на ранних этапах ее реализации. Основное внимание при реализации стратегии должно быть направлено на обеспечение успешного выполнения в течение ближайших лет разграничения и согласования функциональных обязанностей и ответственности за выполнение стратегии» [16].

Схема регламентированной процедуры «Проектирование системы управления экологической безопасностью» изображена на рисунке 13.

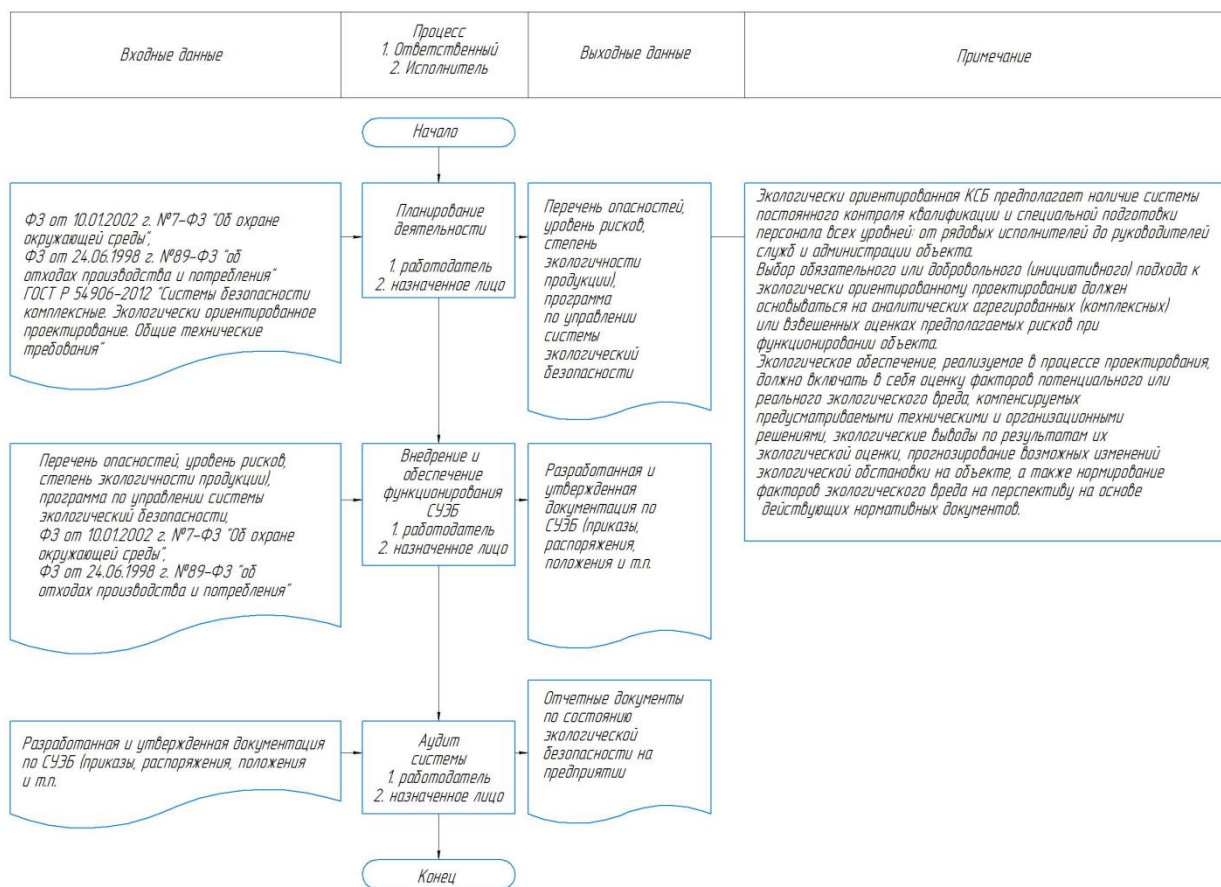


Рисунок 13 – Схема регламентированной процедуры «Проектирование системы управления экологической безопасностью»

«В систему управления экологической безопасностью организации входит соблюдение нормативов: сбросов загрязняющих веществ со сточными водами в поверхностные водоемы, водотоки, канализационные сети и на рельеф местности; промышленных выбросов в атмосферу; загрязнения почв и грунтовых вод в зоне ответственности организации» [18].

«При экопроектировании КСБ объекта необходимо учитывать официально действующие правила и нормы, содержащие экологические требования к источнику(ам) вредного воздействия(й) (ВВ), ограничивающие его (их) негативное влияние посредством соблюдения установленной

нормируемой пороговой величины ВВ, называемой: предельно допустимой концентрацией (ПДК) или временно допустимой концентрацией (ВДК) (для атмосферы); предельно допустимой нормой (ПДН), предельно допустимым сбросом (ПДС) (для воды); ориентировочно допустимым количеством (ОДК) содержания (для почвы, грунта)» [18].

«Экологически ориентированная КСБ предполагает наличие системы постоянного контроля квалификации и специальной подготовки персонала всех уровней: от рядовых исполнителей до руководителей служб и администрации объекта» [18].

Вывод: решая основные производственные и хозяйственные задачи организации и предприятия воздействует на окружающую среду, соответственно в целях минимизация негативного влияния данной деятельности и создаётся система управления экологической безопасностью на предприятии.

## 8 Чрезвычайные и аварийные ситуации, связанные с нарушением требований пожарной безопасности

В производстве пентаэритрита возможны несколько типов аварий, связанных с опасными свойствами обращающихся веществ (рисунок 14): взрыв, токсическая волна, пожар пролива и дрейф взрывоопасного облака. Кроме этого в случае террористического акта возможно образование огненного шара и крупномасштабного пожара пролива.

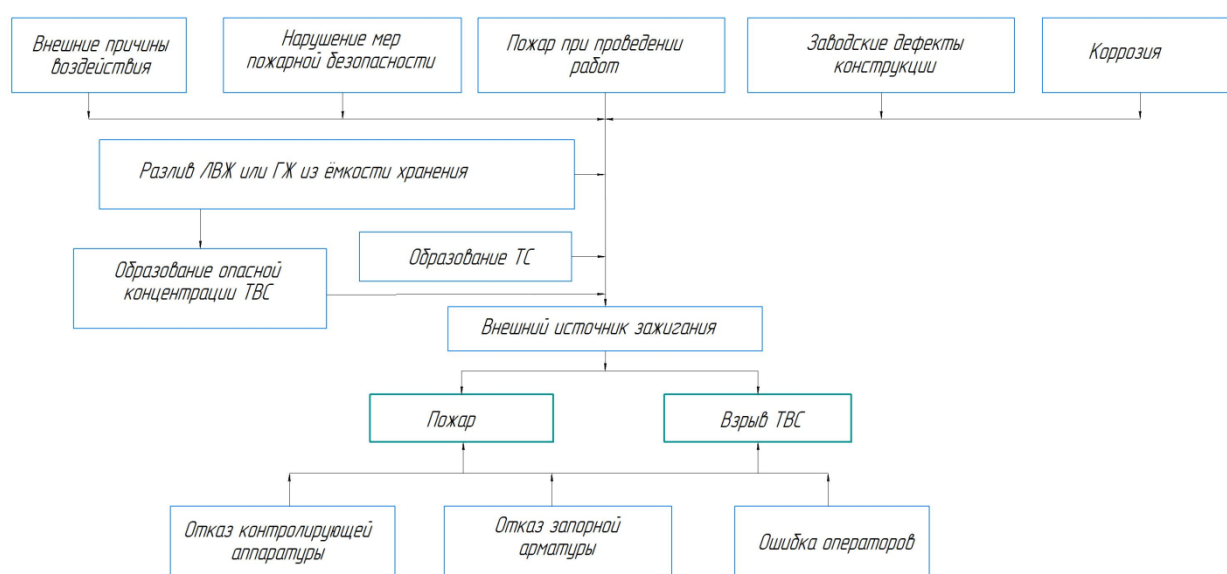


Рисунок 14 – Возможные чрезвычайные и аварийные ситуации, связанные с нарушением требований пожарной безопасности

При авариях в технологических блоках могут иметь место пожары проливов. Опасное тепловое излучение этих пожаров не выходит за пределы установки и представляет опасность только на территории рассматриваемого объекта.

Наиболее вероятными аварийными ситуациями на рассматриваемом объекте являются ситуации, обусловленные частичной разгерметизацией оборудования (разгерметизацией фланцевых соединений, образованием негерметичностей в местах присоединения трубопроводов, дефектами



сварных швов). В этом случае зоны сильного и среднего разрушений практически не выходят или выходят незначительно за пределы соответствующих блоков.

В ПАО «Метафракс» спланирован комплекс мероприятий по поддержанию в готовности органов управления, сил и средств к действиям в условиях ЧС, который достигается:

- разработкой соответствующих планов и документов по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- соответствующей подготовкой органов управления, руководства и персонала к действиям в ЧС;
- созданием (в соответствии с приказом) объединённой комиссии по
- предупреждению и ликвидации ЧС и обеспечению пожарной безопасности ПАО «Метафракс»;
- обеспечением персонала средствами индивидуальной защиты;
- созданием и поддержание в постоянной готовности локальных систем
- оповещения о чрезвычайных ситуациях;
- созданием резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Для обеспечения готовности сил и средств к эффективному проведению операции по локализации и ликвидации последствий аварий проводится в плановом порядке профессиональная подготовка персонала с отработкой практических навыков управления и использования технических средств в различных условиях:

- лекционная подготовка персонала по проблемам экологии и эксплуатации
- специальных технических средств (в системе технической учебы);
- командно-штабные учения с отработкой вопросов управления, связи и взаимодействия – один раз в год;

- комплексные учения с практическим использованием на территории специальных технических средств в полном объеме с применением имитирующих веществ – один раз в три года [10].

Вывод.

Порядок взаимодействия сил и средств сил и использования средств на производственной площадке осуществляется в соответствии с требованиями Федерального Закона Российской Федерации от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и постановления Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [11].

На ПАО «Метафракс» приказом генерального директора создано объектовое звено Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

## 9 Оценка эффективности мероприятий по снижению пожарных рисков

Наиболее вероятными аварийными ситуациями на рассматриваемом объекте являются ситуации, обусловленные частичной разгерметизацией оборудования (разгерметизацией фланцевых соединений, образованием негерметичностей в местах присоединения трубопроводов, дефектами сварных швов).

При авариях в технологических блоках могут иметь место пожары проливов. Опасное тепловое излучение этих пожаров не выходит за пределы установки и представляет опасность только на территории рассматриваемого объекта.

Для повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» необходимо провести их огнезащитную обработку. Огнезащитный материал может наноситься на защищаемую поверхность распылением, валиком или кистью. Оптимальным является метод безвоздушного или воздушного распыления с принудительной подачей материала.

План мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита представлен в таблице 9.

Таблица 9 – План мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита

Мероприятия	Срок исполнения
Разработка проекта повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс»	2022 год
Проведение огнезащитной обработки стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс»	2022 год
Декларирование огнезащитной обработки стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс»	2022 год

Расчёт ожидаемых потерь от пожаров на производстве пентаэритрита в ПАО «Метафракс» будет производиться по двум вариантам обеспечения безопасности:

- на промплощадке производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» произведена огнезащитная обработка стальных конструкций сооружений для хранения ЛВЖ и ГЖ;
- на промплощадке производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» не произведена огнезащитная обработка стальных конструкций сооружений для хранения ЛВЖ и ГЖ.

Рассчитаем площадь пожара при загорании возле ёмкости с ацетальдегидом на промплощадке производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» по формуле 3:

$$F''_{пож} = \pi(v_{л} B_{св.г})^2 4 \text{ м}^2, \quad (3)$$

«где  $v_{л}$  – линейная скорость распространения горения по поверхности, м/мин;

$B_{св.г}$  – время свободного горения, мин.» [17].

$$F''_{пож} = 3,14(1 \times 10)^2 4 = 1256 \text{ м}^2,$$

Данные для расчёта ожидаемых потерь от пожаров на производстве пентаэритрита в ПАО «Метафракс» представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Данные для расчёта ожидаемых потерь от пожаров на производстве пентаэритрита в ПАО «Метафракс»

Показатель	Измерение	Первый вариант	Второй вариант
1	2	3	4
Площадь пожара	м <sup>2</sup>	1256	600
Стоимость оборудования	руб./м <sup>2</sup>	30000	30000
Стоимость частей зданий и строений	руб./м <sup>2</sup>	30000	30000

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Вероятность возникновения загорания	1/м <sup>2</sup> в год	5·10 <sup>-5</sup>	
«Вероятность тушения пожара привозными средствами пожаротушения» [17]	$P_2$	0,86	
«Вероятность тушения пожара первичными средствами» [17]	$P_1$	0,79	
«Вероятность тушения средствами автоматического пожаротушения» [17]	$P_3$	0,95	
«Коэффициент, учитывающий степень уничтожения объекта тушения пожара привозными средствами» [17]	-	0,52	
«Коэффициент, учитывающий косвенные потери» [17]	$k$	1,63	

Расчёт ожидаемых потерь от пожаров на производстве пентаэритрита в ПАО «Метафракс» производится по формуле 4.

$$M(\Pi) = M(\Pi_1) + M(\Pi_2), \quad (4)$$

«где  $M(\Pi_1)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения;

$M(\Pi_2)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, ликвидированных подразделениями пожарной охраны;

$M(\Pi_3)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения» [17]:

$$M(\Pi_1) = JFC_m F_{\text{пож}} (1+k) p_1; \quad (5)$$

«где  $J$  – вероятность возникновения пожара, 1/м<sup>2</sup> в год;

$F$  – площадь объекта, м<sup>2</sup>;

$C_T$  – стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов, руб./м<sup>2</sup>;

$F_{\text{пож}}$  – площадь пожара на время тушения первичными средствами;

$k$  – коэффициент, учитывающий косвенные потери;

$p_1$  – вероятность тушения пожара первичными средствами» [17].

$$M(\Pi_2) = JF(C_m F'_{\text{пож}} + C_k) 0,52(1+k)(1-p_1)p_2; \quad (6)$$

«где  $F_{\text{пож}}^2$  – площадь пожара за время тушения привозными средствами;  
 $C_k$  – стоимость поврежденных частей здания, руб./м<sup>2</sup>;  
 $p_2$  – вероятность тушения пожара привозными средствами» [17].

Для первого варианта:

$$M(\Pi_1) = 5 \times 10^{-5} \times 2500 \times 30000 \times 1256 \times (1 + 1,63) \times 0,86 = 10653078 \text{ руб./год};$$
$$M(\Pi_2) = 5 \times 10^{-5} \times 2500 \times (30000 \times 1256 + 30000) \times 0,52 \times (1 + 1,63) \times (1 - 0,79) \times 0,86 =$$
$$= 1164242,32 \text{ руб./год.}$$

Для второго варианта:

$$M(\Pi_1) = 5 \times 10^{-5} \times 2500 \times 30000 \times 600 \times (1 + 1,63) \times 0,86 = 5089050 \text{ руб./год};$$
$$M(\Pi_2) = 5 \times 10^{-5} \times 2500 \times (30000 \times 600 + 30000) \times 0,52 \times (1 + 1,63) \times (1 -$$
$$0,79) \times 0,86 = 556620,47 \text{ руб./год};$$

Общие ожидаемые потери от пожаров на производстве пентаэритрита в ПАО «Метафракс»:

– если на промплощадке производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» произведена огнезащитная обработка стальных конструкций сооружений для хранения ЛВЖ и ГЖ:

$$M(\Pi)_1 = 10653078 + 1164242,32 = 11817320,32 \text{ руб./год};$$

– если на промплощадке производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» не произведена огнезащитная обработка стальных конструкций сооружений для хранения ЛВЖ и ГЖ:

$$M(\Pi)_2 = 5089050 + 556620,47 = 5645700,47 \text{ руб./год.}$$

Стоимость выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Стоимость выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита

Виды работ	Стоимость, руб.
Разработка проекта повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс»	100000
Проведение огнезащитной обработки стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс»	10000000
Декларирование огнезащитной обработки стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс»	50000
Итого:	10150000

Экономический эффект от выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита составит:

$$I = \sum_{t=0}^T ([M(\Pi_1) - M(\Pi_2)] - [P_2 - P_1]) \times \frac{1}{(1+HД)^t} - (K_2 - K_1) \quad (7)$$

«где T – горизонт расчета (продолжительность расчетного периода);

t – год осуществления затрат;

M(Π1), M(Π2) – расчетные годовые материальные потери в базовом и планируемом вариантах, руб./год;

P1, P2– эксплуатационные расходы в базовом и планируемом вариантах в t-м году, руб./год;

HД – постоянная норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал;

K1, K2 – капитальные вложения на осуществление противопожарных мероприятий в базовом и планируемом вариантах, руб.» [17].

Расчёт денежных потоков от выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчёт денежных потоков

Год Существо вания проекта	$M(\Pi)1-M(\Pi)2$	$D$	$[M(\Pi1)-M(\Pi2)]D$	$K_2-K_1$	Денежные потоки
1	2	3	4	5	6
1	6171619,85	0,91	5616174,06	10150000	-4533825,94
2	6171619,85	0,83	5122444,48	-	5122444,48
3	6171619,85	0,75	4628714,89	-	4628714,89
4	6171619,85	0,68	4196701,50	-	4196701,50
5	6171619,85	0,62	3826404,31	-	3826404,31
6	6171619,85	0,56	3456107,12	-	3456107,12
7	6171619,85	0,51	3147526,12	-	3147526,12
8	6171619,85	0,47	2900661,33	-	2900661,33
9	6171619,85	0,42	2592080,34	-	2592080,34
10	6171619,85	0,39	2406931,74	-	2406931,74

Вывод: интегральный экономический эффект от выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита за десять лет составит 27743745,98 рублей. Выполнение предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита экономически выгодно.



## Заключение

Использование и обращение в рассматриваемом производстве формалина, метанола, серной кислоты и едкого натра являющихся опасными химическими веществами, представляет значительную потенциальную токсическую опасность объекта. Сосредоточение на складе больших количеств ЛВЖ и ГЖ (ацетальдегид, муравьиная кислота, формалин) представляет значительную пожаровзрывоопасность рассматриваемого производства. Кроме того, в производстве обращается и хранится большое количество пентаэритрита. В случае аварийных ситуаций на технологическом оборудовании, содержащем пентаэритрит, а также в процессах сушки, упаковки, транспортирования и складирования вещества возможно интенсивное пылевыведение, что также представляет потенциальную взрывопожароопасность рассматриваемого производства.

При несоблюдении правил промышленной и пожарной безопасности возможны аварии, сопровождающиеся выбросом большого количества сжиженных углеводородных газов с последующим их воспламенением и сгоранием при наличии источника зажигания.

Изложенные методы прогнозирования рассчитаны на применение ЭВМ и использование заблаговременно составленных программ.

Основным достоинством предлагаемой методики оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков является проведение расчетов с учетом режима взрывного превращения газопаровоздушных смесей, зависящего от чувствительности горючего вещества к инициированию, агрегатного состояния ТВС и степени загроможденности окружающего пространства.

Наименьшие масштабы зон потенциального риска присущи авариям с ацетальдегидом на эстакаде слива-налива (блок №1). Максимальный пиковый потенциальный риск в этом случае оценивается величиной  $4.1E-06$

1/год, граница зоны нормативного риска при этом удалена на расстояние до 10 м от эпицентра аварии.

Наиболее крупная по масштабам зона взрывоопасной загазованности образуется при аварии в блоке №7 (полное разрушение колонны обезметаноливания формалина поз. 101). В этом случае глубина дрейфа взрывоопасного облака может составить свыше 164 м, а ширина и высота пространственной зоны, внутри которой возможно существование взрывоопасных концентраций, может составить свыше 20 и 8 м соответственно (все расчеты для наиболее неблагоприятных условий рассеивания). Взрывоопасным облаком может быть накрыто место забора воздуха системой приточной вентиляции корп. 1387 и 1392. Наиболее вероятным режимом сгорания такого облака следует признать хлопок (вспышку). Вероятность взрыва части облака, засасываемой системой приточной вентиляции в помещение, в котором работает невзрывозащищенное электрооборудование, очень высока.

Как следует из результатов расчетов, при максимальной гипотетической аварии в производстве пентаэритрита с точки зрения реализации взрывных нагрузок (полное разрушение колонны обезметаноливания формалина в блоке №7 с последующим взрывным превращением облака ТВС) остекление в зданиях разрушится на расстоянии свыше 251 м. Травмирование людей, находящихся на открытой площадке, ударной волной взрыва может наблюдаться в радиусе до 60 м от эпицентра взрыва.

Среднее значение потенциального риска гибели людей внутри опасной зоны составляет  $5.8E-06$  1/год, что значительно ниже рекомендуемого предельно допустимого уровня риска для действующих объектов ( $1.0E-04$  1/год), а также ниже фоновых показателей риска для России ( $9.8E-05 \div 6.3E-04$  1/год) и может считаться приемлемым.

Порядок взаимодействия сил и средств сил и использования средств на производственной площадке осуществляется в соответствии с требованиями

Федерального Закона Российской Федерации от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и постановления Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

На ПАО «Метафракс» приказом генерального директора создано объектовое звено Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Для повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» необходимо провести их огнезащитную обработку.

В качестве выбора огнезащитного материала и способа повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс» рассмотрены современные решения среди патентов.

Предложенная огнезащитная вспучивающаяся краска является эффективным огнезащитным материалом и способом повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита в ПАО «Метафракс». Огнезащитный материал может наноситься на защищаемую поверхность распылением, валиком или кистью. Оптимальным является метод безвоздушного или воздушного распыления с принудительной подачей материала. Допускается нанесение материала на металлические грунтованные поверхности.

Интегральный экономический эффект от выполнения предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита за десять лет составит 27743745,98 рублей. Выполнение предложенного плана мероприятий по снижению пожарных рисков для стальных конструкций зданий и сооружений производства пентаэритрита экономически выгодно.

Цель работы достигнута.

## Список используемых источников

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 22.0.02-2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001517?section=status> (дата обращения: 05.07.2021).
2. Борzych В. Э., Лапик Н. В. Моделирование и прогноз техногенных катастроф в нефтегазовой отрасли // Пожаровзрывобезопасность. 2010. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-i-prognoz-tehnogennyh-katastrof-v-neftegazovoy-otrasli> (дата обращения: 21.07.2021).
3. Виноградов А. П., Савицкая Т. В., Горанский А. В. База данных по пожаровзрывобезопасности опасных производственных объектов // Успехи в химии и химической технологии. 2011. №1 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/baza-dannyh-po-pozharovzryvobezopasnosti-opasnyh-proizvodstvennyh-obektov> (дата обращения: 17.05.2021).
4. Годовой отчет предварительно утвержден решением Совета директоров ПАО «Метафракс» (Протокол №08/21 от 27.05.2021).
5. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 18.05.2021).
6. Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, Перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры [Электронный ресурс] : Приказ Минздрава РФ от 28.01.2021 № 29Н. URL:

<https://sudact.ru/law/prikaz-minzdrava-rossii-ot-28012021-n-29n/> (дата обращения: 07.06.2021).

7. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 18.07.2021).

8. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 24.06.1998 г. №89-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения: 07.06.2021).

9. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс] : Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 18.05.2021).

10. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс] : Федеральный Закон Российской Федерации от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. URL: <https://sudrf.cntd.ru/document/9009935> (дата обращения: 07.06.2021).

11. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901884206/titles/3JFKJA1> (дата обращения: 07.06.2021).

12. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046058> (дата обращения: 04.05.2021).

13. Патент RU2415896C2 Российская Федерация. Огнезащитный состав / Авдеев Виктор Васильевич (RU) : заявитель и правообладатель Институт новых углеродных материалов и технологий (ЗАО) (ИНУМиТ (ЗАО)) (RU) ; заявл. 26.02.2009 г. [Электронный ресурс]. URL:

[https://yandex.ru/patents/doc/RU2415896C2\\_20110410](https://yandex.ru/patents/doc/RU2415896C2_20110410) (дата обращения: 07.06.2021).

14. Патент RU2718870C1 Российская Федерация. Огнезащитная вспучивающаяся краска / Азмухаметов Борис Дарвинович (RU) : заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ОГНЕЗАЩИТНЫЕ РЕШЕНИЯ» (RU) ; заявл. 08.11.2019 г. [Электронный ресурс]. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2718870C1\\_20200415](https://yandex.ru/patents/doc/RU2718870C1_20200415) (дата обращения: 07.06.2021).

15. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 12.3.047-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда (утв. и введены в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 № 1971-ст). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 04.05.2021).

16. Поселянова Елена Анатольевна Управление формированием и развитием системы экологической безопасности // Вестник ВУиТ. 2010. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-formirovaniem-i-razvitiem-sistemy-ekologicheskoy-bezopasnosti> (дата обращения: 13.09.2021).

17. Пособие к СНиПу 21-01-97\* [Электронный ресурс] : МДС 21-3.2001. URL: [http://pozhproukt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3\\_2001.htm](http://pozhproukt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3_2001.htm) (дата обращения: 11.07.2021).

18. Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 54906-2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093401> (дата обращения: 07.06.2021).

19. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 19.06.2021).

20. Углев Н.П., Дик В.М. Изучение стадии синтеза пентаэритрита // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2017. №1. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-stadii-sinteza-pentaeritrita> (дата обращения: 01.05.2021).

21. Determination of fire risk to assist fire management for insular areas: the case of a small Greek island [electronic resource]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325157035\\_Determination\\_of\\_fire\\_risk\\_to\\_assist\\_fire\\_management\\_for\\_insular\\_areas\\_the\\_case\\_of\\_a\\_small\\_Greek\\_island](https://www.researchgate.net/publication/325157035_Determination_of_fire_risk_to_assist_fire_management_for_insular_areas_the_case_of_a_small_Greek_island) (date of application: 11.06.2021).

22. Improved Fire Risk Analysis Methodology for Determination of the Frequency of Challenging Fires [electronic resource]. URL: <https://www.nrc.gov/docs/ML0301/ML030160539.pdf> (date of application: 12.06.2021).

23. Fire Design Methods for Structures with Timber Framework [electronic resource]. URL: <https://ohsonline.com/Articles/2010/12/01/The-Many-Faces-of-Fire-Hazards-in-Industrial-Settings.aspx> (date of application: 13.06.2021).

24. Fire Risk Assessment [electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fire-risk-assessment> (date of application: 14.06.2021).

25. Risk-Based Passive Fire-Protection Optimization [electronic resource]. URL: [https://www.spe.org/media/filer\\_public/16/68/16683589-5ab8-45e2-8008-041c46cd8ee5/18\\_pr166573.pdf](https://www.spe.org/media/filer_public/16/68/16683589-5ab8-45e2-8008-041c46cd8ee5/18_pr166573.pdf) (date of application: 15.06.2021).