

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Т. А. Кулагина
подпись
«_____» _____ 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

«Прогнозирование зон поражения и риска при эксплуатации
автозаправочных станций»

Руководитель	_____	канд. техн. наук	Л.Н. Горбунова
	подпись, дата		
Выпускник	_____		А.В. Захаров
	подпись, дата		
Нормоконтролер	_____		Е.Н. Зайцева
	подпись, дата		

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Т. А. Кулагина
подпись
« _____ » _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту: Захарову Алексею Валерьевичу.

Группа ФЭ 15-10Б Направление (специальность) 20.03.01 «Техносферная безопасность».

Тема выпускной квалификационной работы: «Прогнозирование зон поражения и риска при эксплуатации автозаправочных станций».

Утверждена приказом по университету: № 18983/с от 17 декабря 2018 г.

Руководитель ВКР: Л.Н. Горбунова, канд. техн. наук.

Исходные данные для ВКР: техническая документация, нормативная, справочная и другая литература.

Перечень разделов ВКР: Описание сценариев развития аварийных ситуаций. Характеристики и свойства жидко-моторного топлива. Прогнозирование зон поражения при аварийных ситуациях на АЗС. Расчет условной вероятности поражения человека. Заключение. Список сокращений. Список использованных источников.

Перечень графического и иллюстрационного материала с указанием основных чертежей, плакатов:

Лист 1: План-схема территории АЗС с расположением основного технологического оборудования.

Лист 2: Ситуационный план аварийной ситуации при взрыве паровоздушной смеси.

Лист 3: Ситуационный план аварийной ситуации при образовании "огненного шара".

Лист 4: Ситуационный план аварийной ситуации при образовании пожара пролива.

Лист 5: Ситуационный план аварийной ситуации при образовании пожара-вспышки.

Руководитель

подпись

Л.Н. Горбунова

Задание принял к исполнению

подпись

А.В. Захаров

«__» _____ 2019 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения ВКР

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения
Сбор и анализ исходной литературы и документации	11.05.2019 – 23.06.2019
Постановка основной задачи, освоение расчетных методик	24.06.2019 – 28.06.2019
Выполнение расчетов, оформление результатов, составление выводов	29.06.2019 – 02.07.2019
Оформление расчетно-пояснительной записки	03.07.2019 – 05.07.2019
Графическое оформление чертежей	06.07.2019 – 08.07.2019
Оформление прочей документации	09.07.2019 – 10.07.2019

«__» _____ 2019 г.

Руководитель

подпись

Л. Н. Горбунова

Задание принял к исполнению

подпись

А.В. Захаров

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Прогнозирование зон поражения и риска при эксплуатации автозаправочных станций» содержит 81 страниц, включает 8 таблиц, 6 рисунков, 18 литературных источников и 5 листов графического материала.

ЖИДКО-МОТОРНОЕ ТОПЛИВО, АВТОЗАПРАВОЧНАЯ СТАНЦИЯ, АВТОТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩАЯСЯ ЖИДКОСТЬ, ЗОНА ПОРОЖЕНИЯ, РИСК, ГОРЮЧИЕ ВЕЩЕСТВО, ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ, УСЛОВНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ.

Объект исследования: автозаправочная станция.

Целью работы является прогнозирование зон поражения при аварийных ситуациях на автозаправочных станциях, расчет условной вероятности поражения человека при аварийных ситуациях на автозаправочных станциях.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была изучена справочная, техническая литература, а также законодательные акты в области эксплуатации автозаправочных станций, произведен расчет прогнозирования зон поражения и условной вероятности поражения человека для различных сценариев развития аварийных ситуаций.

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Прогнозирование зон поражения и риска при эксплуатации автозаправочных станций» ВКР выполнена на 81 странице, включает 8 таблиц, 6 рисунков, 18 литературных источников и 5 листов графического материала.

Целью работы является прогнозирование зон поражения при аварийных ситуациях на автозаправочных станциях, расчет условной вероятности поражения человека при аварийных ситуациях на автозаправочных станциях.

В введении раскрывается актуальность выпускной квалификационной работы по выбранному направлению, определяется проблема и цели.

В первой главе описываются сценарии развития наиболее тяжелых аварийных ситуаций.

Во второй главе рассматриваются характеристики и свойства дизельного топлива и бензина марки АИ-92.

В третьей главе рассчитывается прогнозирование зон поражения при реализации сценариев аварийных ситуациях.

В четвертой главе выполняется расчет условной вероятности поражения человека в результате реализации сценариев аварийных ситуаций.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены наиболее тяжелые сценарии развития аварийных ситуаций на автозаправочных станциях, произведены расчеты зон поражения с указанием возможных последствий для людей и сооружений, рассчитаны условные вероятности поражения при реализации данных сценариев.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Описание сценариев развития аварийных ситуаций	11
2 Характеристики и свойства жидко-моторного топлива.....	15
2.1 Характеристики и свойства дизельного топлива.....	15
2.2 Характеристики и свойства бензина АИ-92	15
3 Прогнозирование зон поражения при аварийных ситуациях на АЗС	19
3.1 Прогнозирование зоны взрывоопасных концентраций	19
3.2 Прогнозирование зоны поражения продуктами сгорания паровоздушной смеси	23
3.3 Прогнозирование зоны поражения при взрыве паровоздушной смеси	24
3.4. Прогнозирование зоны поражения тепловым излучением «огненного шара»	37
3.5 Прогнозирование зоны поражения тепловым излучением пожара-пролива	45
4 Расчет условной вероятности поражения человека	64
4.1 Расчет условной вероятности поражения человека при взрыве паровоздушной смеси.....	65
4.2 Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением «огненного шара».....	68
4.3 Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива	70
4.4 Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара-вспышки	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	80

ВВЕДЕНИЕ

Автозаправочные станции (АЗС) представляют собой комплекс сооружений со специализированным оборудованием, предназначенным для приема, хранения и выдачи бензинов всех типов и дизельного топлива.

Люди, прибывающие на территории АЗС неизбежно подвержены воздействию опасных химических, физических, а также вредных производственных факторов, к которым относятся:

- подвижные части производственного оборудования, машины и механизмы;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, нефтепродуктов;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти посредством тела человека;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенный уровень статического электричества;
- поражающие факторы атмосферного электричества.

АЗС относятся к объектам повышенной пожаровзрывоопасности, поскольку технологические процессы на них связаны с обращением жидкотопливного топлива (ЖМТ), обладающего высокой скоростью выгорания, низкой температурой вспышки, малыми значениями нижнего концентрационного предела распространения пламени, минимальной энергии зажигания, а также постоянным присутствием источников зажигания от движущихся автотранспортных средств (АТС).

При неправильной организации технологических процессов или несоблюдении определенных требований возникают аварийные ситуации –

пожары и/или взрывы, которые приводят к, термическим ожогам, травмированию работников и клиентов АЗС.

Аварийной ситуацией на АЗС является:

- загорание АЗС;
- неисправность в электрооборудовании;
- утечки ЖМТ из топливораздаточной колонки (ТРК), резервуара;
- загазованность (свыше 100 мг/м³) в здании АЗС;
- пролив и перелив при приеме ЖМТ.

Приводим примеры некоторых аварийных ситуаций, происшедших на АЗС.

В подвале здания АЗС под помещением операторной в г. Бузулук Оренбургской обл. произошел взрыв из-за нарушения правил безопасности и утечки паров ЖМТ.

На АЗС в селе Гехи Чеченской Республики произошел пожар площадью 900 м².

На АЗС вблизи г. Вязьма Смоленской обл. загорелся резервуар с бензином, который находился в это время на продувке.

На АЗС поселка Барда Пермского края при перекачке бензина из автоцистерны произошло возгорание резервуара.

На основе анализа аварийных ситуаций можно сделать вывод о необходимости более тщательной детализации развития сценариев аварийных ситуаций и оценки риска при эксплуатации АЗС.

Целью выпускной работы являются следующие положения:

- прогнозирование зон поражения при аварийных ситуациях на АЗС;
- расчеты условной вероятности поражения человека при аварийных ситуациях на АЗС.

1 Описание сценариев развития аварийных ситуаций

Перечень основных факторов и возможных причин, способствующих возникновению и развитию аварийных ситуаций на АЗС, представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень основных факторов и возможных причин, способствующих возникновению и развитию аварийных ситуаций на АЗС

Наименование технологического блока АЗС	Факторы, способствующие возникновению и развитию аварийных ситуаций на АЗС	Возможные причины аварийных ситуаций на АЗС
Блок 1 – резервуарный парк	<ol style="list-style-type: none"> Операции по хранению ЖМТ, являющегося горючими жидкостями с низким концентрационным пределом воспламенения, что создает опасность пожара при нарушении правил эксплуатации подземных резервуаров Неисправность или отсутствие заземления технологического оборудования от статического электричества или заземления во взрывоопасной зоне 	<ol style="list-style-type: none"> Ошибки при изготовлении монтаже и ремонте оборудования Разгерметизация оборудования из-за внутренних механических дефектов, переполнения, механических повреждений, коррозии Воздействия внешних факторов Ошибки персонала при проведении технологического процесса
Блок 2 – площадка слива из автоцистерны	<ol style="list-style-type: none"> Операции по сливу ЖМТ, являющиеся горючими жидкостями с низким концентрационным пределом воспламенения, что создает опасность аварийного разлива опасных веществ, при разгерметизации автоцистерны с последующим возможным взрывом и пожаром Отсутствие заземления автоцистерны от статического электричества или заземления во взрывоопасной зоне 	<ol style="list-style-type: none"> Ошибки при изготовлении, монтаже и ремонте оборудования Разгерметизация оборудования из-за внутренних механических дефектов, переполнения, механических повреждений, коррозии Воздействия внешних факторов Ошибки персонала при проведении технологического процесса налива ЖМТ

Для оценки риска при эксплуатации АЗС рассматриваются сценарии развития наиболее тяжелых аварийных ситуаций, в результате которых может быть нанесен ущерб.

К таким сценариям относятся ситуации, представленные на рисунке 1:

- пожар на территории АЗС;
- взрыв паровоздушного облака;
- попадание технологического оборудования АЗС, АТС, в очаг пожара с последующим взрывом и образованием «огненного шара».

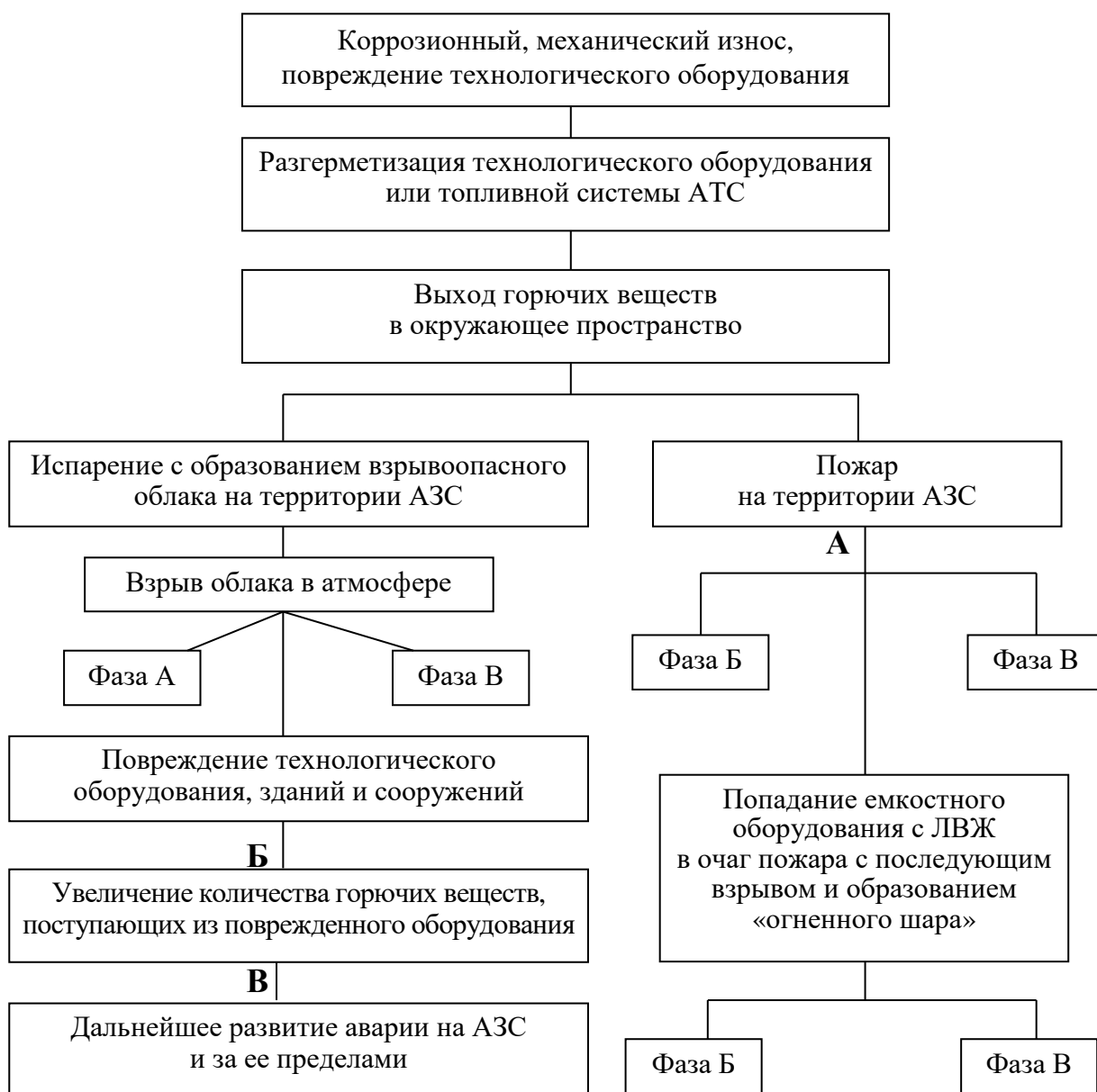


Рисунок 1 - Типовая схема анализа возникновения и развития возможных аварий на АЗС с наземным резервуаром

Уровни развития, следующие:

- первый уровень «А» характеризуется возникновением и развитием аварийной ситуации с дальнейшим переходом в пожар или пожар пролива жидко-моторного топлива в пределах территории АЗС. В качестве иницирующей пожароопасную ситуацию события рассматривается разрыв рукава топливораздаточной колонки при заправке автотранспортного средства;
- второй уровень «Б» характеризуется повреждением технологического оборудования, зданий и сооружений;
- третий уровень «В» характеризуется дальнейшим развитием пожара с возможным переходом на расположенные вблизи технологические объекты, здания и сооружения на территории АЗС и за ее пределами, а также поражением опасными факторами пожара персонала предприятия и людей находящихся в непосредственной близости.

Каждый сценарий аварийной ситуации на АЗС может иметь несколько стадий развития при сочетании определенных условий, может быть приостановлен, перейти в следующую стадию развития (событие пожара) или на более высокий уровень.

Возможное развитие сценариев аварийных ситуаций на АЗС зависит от следующих факторов:

- свойств ЖМТ;
- наличия источника зажигания;
- конструктивных особенностей технологического оборудования;
- наличия и готовности средств противоаварийной защиты;
- климатических условий и др.

Для определения частоты реализации аварийных ситуаций на АЗС используется информация:

- о максимальной мощности АЗС (количество заправок АТС в сутки);
- о характеристиках и свойствах ЖМТ;
- о вероятности присутствия персонала и клиентов АЗС во время заправки АТС;

- об отказах и параметрах надежности технологического оборудования, используемого на АЗС;
- об ошибочных действиях персонала АЗС;
- о метеорологической обстановке в районе размещения АЗС (температура воздуха, скорость ветра, наличие осадков и др.);
- о географических особенностях местности в районе размещения АЗС;
- тип подстилающей поверхности.

2 Характеристики и свойства жидко-моторного топлива

2.1 Характеристики и свойства дизельного топлива

Дизельное топливо относится к легковоспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ), оно является опасным, так как может вызывать отравление организма человека, его насыщенные пары вызывают легкую тошноту даже в течении короткого промежутка времени вдыхания, позывы к рвоте, головные боли, которые могут наблюдаться долгое время.

Дизельное топливо горит при наличии источника зажигания, его пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси.

Оно относится к 4 классу опасности, предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны составляет 300 мг/м^3 .

При определении зон поражения на АЗС используем следующие характеристики дизельного топлива:

- химическая формула $C_{12,343}H_{26,889}$;
- молярная масса дизельного топлива $M = 172,3 \text{ кг/кмоль}$;
- температура вспышки – $48 \text{ }^\circ\text{C}$;
- удельная теплота сгорания $Q_{\text{сг}} = 43590 \text{ кДж/кг}$;
- плотность $\rho = 804 \text{ кг/м}^3$;
- расчетная температура $t_p = 36 \text{ }^\circ\text{C}$;
- константы уравнения Антуана $A = 5,07818$, $B = 1255,73$, $C_A = 199,523$;
- нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{\text{НКПР}} = 0,6 \text{ \% (об.)}$;
- среднеповерхностная плотность теплового излучения $E_f = 40000 \text{ Вт/м}^2$.

2.2 Характеристики и свойства бензина АИ-92

Одним из опасных и вредных химических факторов на АЗС является бензин, относящийся к ЛВЖ.

Бензин представляет собой смесь легких углеводородов с характерным запахом. При возникновении пламени, скорость его распространения при обычных условиях составляет 10–15 м/с, по поверхности зеркала растекания.

Бензин относится к 4 классу опасности и имеет предельно допустимую концентрацию в воздухе рабочей зоны 100 мг/м³.

При концентрации паров бензина около 400 мг/м³, человек, не страдающий дисфункцией органов обоняния, начинает чувствовать запахи паров бензина. При вдыхании паров бензина концентрацией 900-3612 мг/м³ в течении 5-10 минут, человек может получить легкое отравление. Признаками отравления будут являться такие симптомы как головокружение, мышечные судороги, подергивание мышц, вялость, легкие подергивания конечностей, тремор рук, повышенное сердцебиение, головные боли.

Если человек будет вдыхать воздух с концентрацией паров бензина 5000–10000 мг/м³, даже в течении непродолжительного периода времени, то уже через несколько минут появятся: першение в горле, головокружение, головные боли, кашель, будет наблюдаться раздражение слизистых оболочек носа, глаз. Кроме этого, понижение температуры тела, а также снижение частоты сердечных сокращений являются первыми признаками острого отравления парами бензина.

При концентрации паров бензина в воздухе свыше 2,2 % (30 г/м³) после 10–12 вдохов человек отравляется, теряет сознание; свыше 3 % (40 г/м³) происходит молниеносное отравление (2–3 вдоха) – быстрая потеря сознания и смерть.

Сила токсического действия бензина резко повышается при увеличении температуры окружающего воздуха.

Бензин оказывает обезжиривающее действие при контакте с кожей, в следствии чего может вызывать развитие кожных заболеваний – различного рода дерматиты, экземы.

У бензина отсутствует способность к накоплению в организме, но вредные вещества растворенные в нем, например тетраэтилсвинец, не выводятся из организма.

Первыми признаками отравления бензином при попадании через ротовую полость являются такие симптомы как: жжение во рту и пищеводе, жидкий стул, боли в правом боку.

При попадании бензина в дыхательные пути, через 2–8 ч начинается бензиновое воспаление легких (боли в боку, кашель с выделением бурой мокроты, повышение температуры тела, запах бензина изо рта).

При определении зон поражения на АЗС используются следующие характеристики бензина, технологического оборудования и параметры окружающей среды:

- химическая формула – $C_{7,92}H_{17,84}$;
- молярная масса бензина $M = 112,88$ кг/кмоль;
- температура вспышки: -35 °С;
- коэффициент разлития при растекании на бетонном или асфальтобетонном покрытии $f_p = 150$ м⁻¹;
- удельная теплота сгорания $Q_{ст} = 44000$ кДж/кг;
- плотность $\rho = 760$ кг/м³;
- расчетная температура $t_p = 36$ °С;
- константы уравнения Антуана $A = 4,99831$, $B = 664,976$, $C_A = 221,695$;
- нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР} = 1,2$ % (об.);
- корректировочный параметр $\beta = 1$;
- коэффициент участия горючего во взрыве $Z = 0,1$;
- среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени горящего бензина $E_f = 60$ кВт/м²;
- степень расширения продуктов сгорания $\sigma = 7$;
- класс горючего вещества по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов – 3;

- класс режима сгорания паровоздушной смеси – 5;
- удельная массовая скорость выгорания бензина $m_y = 0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})$;
- молярный объем пара $V_o = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$;
- ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$.
- атмосферное давление $P_o = 101,325 \text{ кПа}$;
- внутренний диаметр шланга ТРК $d_{\text{шл}} = 0,032 \text{ м}$;
- производительность насоса $q_H = 100 \text{ л}/\text{мин} = 1,667 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.
- продолжительность срабатывания отсекающих устройств в системе по прямому току $\tau_{\text{откл}} = 1 \text{ с}$ (вероятность отказа систем отключения трубопроводов ТРК не выше 1×10^{-6}).

3 Прогнозирование зон поражения при аварийных ситуациях на АЗС

При построении полей поражающих факторов для различных сценариев развития аварийной ситуации учитываются:

- тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов жидко-моторного топлива на поверхность и «огненных шарах»;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании паровоздушной смеси в открытом пространстве;
- концентрация токсичных компонентов продуктов горения в помещении;
- снижение концентрации кислорода в воздухе помещения;
- задымление атмосферы помещения;
- среднеобъемная температура в помещении;
- осколки, образующиеся при взрывном разрушении элементов технологического оборудования;
- расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

3.1 Прогнозирование зоны взрывоопасных концентраций

Поступление жидко-моторного топлива из рукава топливораздаточной колонки на территорию АЗС при отсутствии мгновенного воспламенения и скорости ветра менее 1 м/с приведет к образованию горючих паровоздушных смесей. Зоны взрывоопасных концентраций рассчитывают с учетом нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР).

Радиус $R_{\text{НКПР}}$, ограничивающий область концентраций, превышающих НКПР, рассчитываем согласно Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [2]:

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \times \left(\frac{\tau}{3600}\right)^{0,5} \times \left(\frac{P_s}{C_{\text{НКПР}}}\right)^{0,8} \times \left(\frac{m_{\text{и}}}{\rho_{\text{п}} \times P_s}\right)^{0,33}, \quad (1)$$

где τ - продолжительность поступления паров в открытое пространство, с;

$m_{И}$ - масса паров ЖМТ, за время испарения τ , кг;

$\rho_{П}$ - плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кг/м³;

P_S - давление насыщенных паров при расчетной температуре, кПа;

$C_{НКПР}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени паров,
% об.

$$P_S = 10^{A - \frac{B}{C_a + t_p}}, \quad (2)$$

$$\rho_{П} = \frac{M}{V_0 \times (1 + 0,00367 \times t_p)}, \quad (3)$$

где t_p – расчетная температура $t_p = 36$ °С;

M – молярная масса, $M_{\text{диз.топ}} = 172,3$ кг/кмоль, $M_{\text{АИ-92}} = 112,88$ кг/кмоль;

V_0 – молярный объём, м³/кмоль.

Интенсивность испарения ЖМТ

$$W = 10^{-6} \times (M)^{\frac{1}{2}} \times P_S, \quad (4)$$

где M – молярная масса, $M_{\text{диз.топ}} = 172,3$ кг/кмоль, $M_{\text{АИ-92}} = 112,88$ кг/кмоль.

Объем ЖМТ, поступившего на территорию АЗС

$$V = q_H \times \tau_{\text{ОТКЛ}} + l_{\text{шл}} \times \left(\frac{\pi \times d_{\text{шл}}^2}{4} \right), \quad (5)$$

где q_H - производительность насоса $q_H = 100$ л/мин = $1,667 \times 10^{-3}$ м³/с;

$\tau_{\text{ОТКЛ}}$ - продолжительность срабатывания отсекающих устройств в системе
по прямому току $\tau_{\text{ОТКЛ}} = 1$ с;

$l_{\text{шл}}$ – длина раздаточного рукава, 4 м.

Масса ЖМТ, поступившего на территорию АЗС

$$m_{\text{ЖМТ}} = \rho_{\text{Ж}} \times V, \quad (6)$$

где $\rho_{\text{Ж}}$ – плотность, кг/м³.

Площадь пролива при растекании ЖМТ

$$F = f_{\text{р}} \times V, \quad (7)$$

где $f_{\text{р}}$ - коэффициент разлития при растекании на бетонном или асфальтобетонном покрытии $f_{\text{р}} = 150 \text{ м}^{-1}$.

Для дизельного топлива:

$$P_{\text{с}} = 10^{5,07818 - \frac{1255,73}{199,523+36}} = 0,558 \text{ кПа},$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{172,3}{22,4 \times (1 + 0,00367 \times 36)} = 6,79 \text{ кг/м}^3,$$

$$W = 10^{-6} \times (172,3)^{\frac{1}{2}} \times 0,558 = 0,0000073 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)},$$

$$V = 1,667 \times 10^{-3} \times 1 + 4 \times \left(\frac{3,14 \times 0,032^2}{4} \right) = 0,005 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{ЖМТ}} = 804 \times 0,005 = 4,02 \text{ кг},$$

$$F = 150 \times 0,005 = 0,75 \text{ м}^2.$$

Так как масса ЖМТ, поступившего на территорию АЗС, менее 20 кг, то длительность испарения ЖМТ составит

$$\tau = \left(\min \left(\frac{m_{\text{ЖМТ}}}{F \times W} \right); 900 \right) = 900 \text{ с.} \quad (8)$$

Масса испарившегося ЖМТ за время τ составит

$$m_{\text{И}} = W \times F \times \tau, \quad (9)$$

$$m_{\text{И}} = 0,0000073 \times 0,75 \times 900 = 0,005 \text{ кг,}$$

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \times \left(\frac{900}{3600} \right)^{0,5} \times \left(\frac{0,558}{0,6} \right)^{0,8} \times \left(\frac{0,005}{6,79 \times 0,558} \right)^{0,33} = 0,169 \text{ м.}$$

Для бензина марки АИ – 92:

$$P_{\text{S}} = 10^{4,99831 - \frac{664,976}{221,695 + 36}} = 261,718 \text{ кПа,}$$

$$\rho_{\text{П}} = \frac{112,88}{22,4 \times (1 + 0,00367 \times 36)} = 4,451 \text{ кг/м}^3,$$

$$W = 10^{-6} \times (112,88)^{\frac{1}{2}} \times 261,718 = 0,00278 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с),}$$

$$V = 1,667 \times 10^{-3} \times 1 + 4 \times \left(\frac{3,14 \times 0,032^2}{4} \right) = 0,005 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{ЖМТ}} = 760 \times 0,005 = 3,8 \text{ кг,}$$

$$F = 150 \times 0,005 = 0,75 \text{ м}^2.$$

Так как масса ЖМТ, поступившего на территорию АЗС, менее 20 кг, то длительность испарения ЖМТ составит

$$\tau = 900 \text{ с.}$$

Масса испарившегося ЖМТ за время τ составит

$$m_{\text{и}} = 0,00278 \times 0,75 \times 900 = 1,88 \text{ кг,}$$

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \times \left(\frac{900}{3600}\right)^{0,5} \times \left(\frac{261,718}{1,2}\right)^{0,8} \times \left(\frac{1,88}{4,451 \times 261,718}\right)^{0,33} = 14,24 \text{ м.}$$

3.2 Прогнозирование зоны поражения продуктами сгорания паровоздушной смеси

При образовании паровоздушного облака в условиях открытого пространства может произойти пожар-вспышка, в результате которого может быть поражение высокотемпературными продуктами сгорания персонала, клиентов АЗС, АТС и других объектов, которые окажутся в этом облаке.

Радиус зоны поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси определяем по формуле

$$R_{\text{ПВС}} = 1,2 \times R_{\text{НКПР}}, \quad (10)$$

Для дизельного топлива:

$$R_{\text{ПВС}} = 1,2 \times 0,169 = 0,203 \text{ м.}$$

Для бензина марки АИ-92:

$$R_{ПВС} = 1,2 \times 14,24 = 17,09 \text{ м.}$$

3.3 Прогнозирование зоны поражения при взрыве паровоздушной смеси

При образовании паровоздушной смеси и взаимодействии с источником зажигания (искра и т.п.) в условиях открытого пространства происходит ее мгновенное сгорание и образование волны давления, которое представляет опасность для людей, персонала, клиентов АЗС, а также зданий и сооружений.

Исходными данными для расчета параметров волн давления при взрыве паровоздушной смеси являются следующие параметры:

- масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени с учетом коэффициента Z участия горючего вещества во взрыве. При отсутствии данных коэффициент Z может быть принят равным 0,1;
- стехиометрическая концентрация горючего вещества с воздухом $C_{ст}$;
- удельная теплота сгорания горючего вещества;
- скорость звука в воздухе C_0 ;
- информация о степени загроможденности окружающего пространства.

Масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени составит

$$m_{г} = m_{и} \times Z, \tag{11}$$

Для дизельного топлива:

$$m_{г} = 0,005 \times 0,1 = 0,0005 \text{ кг,}$$

Для бензина марки АИ-92:

$$m_{\Gamma} = 1,88 \times 0,1 = 0,188 \text{ кг.}$$

Удельная теплота сгорания ЖМТ

$$E_{уд} = \beta \times E_{уд0}, \quad (12)$$

где β - корректировочный параметр, $\beta = 1$;

$E_{уд0}$ – удельная теплота сгорания, $E_{уд,диз.топ} = 43590 \text{ кДж/кг}$,
 $E_{уд,АИ-92} = 44000 \text{ кДж/кг}$.

$$E_{уд,диз.топ} = 1 \times 43,59 \times 10^6 = 43,59 \times 10^6 \text{ Дж/кг},$$

$$E_{уд,АИ-92} = 1 \times 44 \times 10^6 = 44 \times 10^6 \text{ Дж/кг}.$$

Стехиометрический коэффициент в реакции сгорания

$$k = n_c + [(n_H - n_X)/4] - (n_O/2), \quad (13)$$

где n_c – число атомов углерода в молекуле ЖМТ;

n_H – число атомов водорода в молекуле ЖМТ;

n_X – число атомов галоидов в молекуле ЖМТ;

n_O – число атомов кислорода в молекуле ЖМТ.

Для дизельного топлива

$$k = 12,343 + [(26,889 - 0)/4] - \left(\frac{0}{2}\right) = 19,065,$$

Для бензина АИ-92

$$k = 7,92 + [(17,84 - 0)/4] - \left(\frac{0}{2}\right) = 12,38.$$

Стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ

$$C_{СТ} = \frac{100}{(1+4,84 \times k)}, \quad (14)$$

где k - стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания.

Для дизельного топлива:

$$C_{СТ} = \frac{100}{(1+4,84 \times 19,065)} = 1,072 \% \text{ (об)},$$

Для бензина АИ-92:

$$C_{СТ} = \frac{100}{(1+4,84 \times 12,38)} = 1,64 \% \text{ (об)}.$$

Концентрацию горючего в смеси $C_{Г}$ принимают равной стехиометрической.

Эффективный энергозапас горючей смеси определяют из следующих соотношений

$$E = \begin{cases} \{m_{Г} \times E_{уд}, \text{ если } C_{Г} \leq C_{СТ}\}; \\ \left\{m_{Г} \times E_{уд} \times \left(\frac{C_{СТ}}{C_{Г}}\right), \text{ если } C_{Г} > C_{СТ}\right\}, \end{cases} \quad (15)$$

Для дизельного топлива:

$$E = 0,0005 \times 43,59 \times 10^6 = 0,022 \times 10^6 \text{ Дж},$$

Для бензина АИ-92:

$$E = 0,188 \times 44 \times 10^6 = 8,272 \times 10^6 \text{ Дж}.$$

Расчетная скорость фронта пламени

$$u_p = 43 \times (m_{II})^{1/6}, \quad (16)$$

Для дизельного топлива:

$$u_p = 43 \times (0,005)^{1/6} = 17,78 \text{ м/с},$$

Для бензина АИ-92:

$$u_p = 43 \times (1,88)^{1/6} = 47,8 \text{ м/с}.$$

Видимую скорость фронта пламени находят по следующим соотношениям

$$u = \begin{cases} u_p, & \text{если } u_p > 300 \\ 300, & \text{если } u_p \leq 300 \end{cases} \quad (17)$$

$$u = 300 \text{ м/с, т. к. } u_p \leq 300.$$

Безразмерное расстояние от центра облака паровоздушной смеси

$$r_x = \frac{r}{(E/P_0)^{1/3}}, \quad (18)$$

где r – расстояние от центра облака, м;

P_0 – атмосферное давление, Па;

E – эффективный энергозапас смеси, Дж.

Расчет ведем для расстояния 0, 5, 10, 15, 20, 25 м.

Для дизельного топлива:

$$r_0 = \frac{0}{(0,022 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 0,$$

$$r_5 = \frac{5}{(0,022 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 8,32,$$

$$r_{10} = \frac{10}{(0,022 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 16,64,$$

$$r_{15} = \frac{15}{(0,022 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 24,96,$$

$$r_{20} = \frac{20}{(0,022 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 33,28,$$

$$r_{25} = \frac{25}{(0,022 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 41,59.$$

Для бензина АИ-92:

$$r_0 = \frac{0}{(8,272 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 0,$$

$$r_5 = \frac{5}{(8,272 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 1,15,$$

$$r_{10} = \frac{10}{(8,272 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 2,31,$$

$$r_{15} = \frac{15}{(8,272 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 3,46,$$

$$r_{20} = \frac{20}{(8,272 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 4,61,$$

$$r_{25} = \frac{25}{(8,272 \times 10^6 / 101325)^{1/3}} = 5,76.$$

Безразмерное давление

$$P_x = \begin{cases} \left\{ \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \times \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{r_x} \right) - \left(\frac{0,14}{r_x^2} \right) \right] \right\}, & \text{если } r_x > 0,34; \\ \left\{ \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \times \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{0,34} \right) - \left(\frac{0,14}{0,34} \right) \right] \right\}, & \text{если } r_x \leq 0,34; \end{cases} \quad (19)$$

где σ – степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей – 7, для пылевоздушных смесей – 4);

C_0 – скорость звука в воздухе, $C_0 = 340$ м/с.

Для дизельного топлива:

$$P_0 = (300^2 / 340^2) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times [(0,83/0,34) - (0,14/0,34)] = 1,35,$$

$$P_5 = \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{8,32} \right) - \left(\frac{0,14}{8,32^2} \right) \right] = 0,065,$$

$$P_{10} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{16,64} \right) - \left(\frac{0,14}{16,64^2} \right) \right] \right\} = 0,033,$$

$$P_{15} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{24,96} \right) - \left(\frac{0,14}{24,96^2} \right) \right] \right\} = 0,022,$$

$$P_{20} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{33,28} \right) - \left(\frac{0,14}{33,28^2} \right) \right] \right\} = 0,017,$$

$$P_{25} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{41,59} \right) - \left(\frac{0,14}{41,59^2} \right) \right] \right\} = 0,013.$$

Для бензина АИ-92:

$$P_0 = \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{0,34} \right) - \left(\frac{0,14}{0,34} \right) \right] = 1,35,$$

$$P_5 = \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{1,15} \right) - \left(\frac{0,14}{1,15^2} \right) \right] = 0,41,$$

$$P_{10} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{2,31} \right) - \left(\frac{0,14}{2,31^2} \right) \right] \right\} = 0,222,$$

$$P_{15} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{3,46} \right) - \left(\frac{0,14}{3,46^2} \right) \right] \right\} = 0,152,$$

$$P_{20} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{4,61} \right) - \left(\frac{0,14}{4,61^2} \right) \right] \right\} = 0,116,$$

$$P_{25} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,83}{5,76} \right) - \left(\frac{0,14}{5,76^2} \right) \right] \right\} = 0,093.$$

Безразмерный импульс фазы сжатия

$$I_X = \left\{ \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \times \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right) \times \left[\left(\frac{0,01}{r_X^2} \right) - \left(\frac{0,0025}{r_X^3} \right) \right] \right\}, \text{ если } r_X > 0,34; \quad (20)$$

$$I_X = \left\{ W \times (1 - 0.4 \times W) \times \left[\left(\frac{0.06}{0.34} \right) + \left(\frac{0.01}{0.34^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{0.34^3} \right) \right] \right\}, \text{ если } r_X \leq 0,34;$$

$$W = (u/C_0) \times \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right), \quad (21)$$

$$W = (300/340) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) = 0,756.$$

Для дизельного топлива:

$$I_0 = \left\{ 0,756 \times (1 - 0.4 \times 0,756) \times \left[\left(\frac{0.06}{0.34} \right) + \left(\frac{0.01}{0.34^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{0.34^3} \right) \right] \right\} = 0,105,$$

$$I_5 = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0.01}{8,32^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{8,32^3} \right) \right] \right\} = 0,0000935,$$

$$I_{10} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0.01}{16,64^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{16,64^3} \right) \right] \right\} = 0,0000237,$$

$$I_{15} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0.01}{24,96^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{24,96^3} \right) \right] \right\} = 0,0000106,$$

$$I_{20} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0.01}{33,28^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{33,28^3} \right) \right] \right\} = 0,000006,$$

$$I_{25} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0.01}{41,59^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{41,59^3} \right) \right] \right\} = 0,000004.$$

Для бензина АИ-92:

$$I_0 = \left\{ 0,756 \times (1 - 0.4 \times 0,756) \times \left[\left(\frac{0.06}{0.34} \right) + \left(\frac{0.01}{0.34^2} \right) - \left(\frac{0.0025}{0.34^3} \right) \right] \right\} = 0,105,$$

$$I_5 = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,01}{1,15^2} \right) - \left(\frac{0,0025}{1,15^3} \right) \right] \right\} = 0,004,$$

$$I_{10} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,01}{2,31^2} \right) - \left(\frac{0,0025}{2,31^3} \right) \right] \right\} = 0,012,$$

$$I_{15} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,01}{3,46^2} \right) - \left(\frac{0,0025}{3,46^3} \right) \right] \right\} = 0,0011,$$

$$I_{20} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,01}{4,61^2} \right) - \left(\frac{0,0025}{4,61^3} \right) \right] \right\} = 0,0003,$$

$$I_{25} = \left\{ \left(\frac{300^2}{340^2} \right) \times \left(\frac{7-1}{7} \right) \times \left[\left(\frac{0,01}{5,76^2} \right) - \left(\frac{0,0025}{5,76^3} \right) \right] \right\} = 0,0002.$$

Избыточное давление взрыва

$$\Delta P = P_X \times P_0, \tag{22}$$

где P_0 – атмосферное давление, Па.

Для дизельного топлива:

$$\Delta P_0 = 1,35 \times 101325 = 14 \times 10^4 \text{ Па},$$

$$\Delta P_5 = 0,065 \times 101325 = 0,659 \times 10^4 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{10} = 0,033 \times 101325 = 0,334 \times 10^4 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{15} = 0,022 \times 101325 = 0,223 \times 10^4 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{20} = 0,017 \times 101325 = 0,172 \times 10^4 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{25} = 0,013 \times 101325 = 0,132 \times 10^4 \text{ Па.}$$

Для бензина АИ-92:

$$\Delta P_0 = 1,35 \times 101325 = 14 \times 10^4 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_5 = 0,41 \times 101325 = 4,2 \times 10^4 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{10} = 0,222 \times 101325 = 2,25 \times 10^4 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{15} = 0,152 \times 101325 = 1,54 \times 10^4 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{20} = 0,116 \times 101325 = 1,17 \times 10^4 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{25} = 0,093 \times 101325 = 0,94 \times 10^4 \text{ Па.}$$

Импульс фазы сжатия

$$I^+ = I_X \times (P_0)^{\frac{2}{3}} \times \frac{E^{\frac{1}{3}}}{C_0}, \quad (23)$$

Для дизельного топлива:

$$I^+_0 = 0,105 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(0,022 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 18,81 \text{ Па} \times \text{с,}$$

$$I^+_5 = 0,0000935 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(0,022 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 0,017 \text{ Па} \times \text{с,}$$

$$I^+_{10} = 0,0000237 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(0,022 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 0,0043 \text{ Па} \times \text{с,}$$

$$I^+_{15} = 0,0000106 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(0,022 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 0,0019 \text{ Па} \times \text{с},$$

$$I^+_{20} = 0,000006 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(0,022 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 0,0011 \text{ Па} \times \text{с},$$

$$I^+_{25} = 0,000004 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(0,022 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 0,00072 \text{ Па} \times \text{с}.$$

Для бензина АИ-92:

$$I^+_0 = 0,105 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(8,272 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 135,75 \text{ Па} \times \text{с},$$

$$I^+_5 = 0,004 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(8,272 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 5,17 \text{ Па} \times \text{с},$$

$$I^+_{10} = 0,0012 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(8,272 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 1,55 \text{ Па} \times \text{с},$$

$$I^+_{15} = 0,0011 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(8,272 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 1,42 \text{ Па} \times \text{с},$$

$$I^+_{20} = 0,0003 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(8,272 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 0,39 \text{ Па} \times \text{с},$$

$$I^+_{25} = 0,0002 \times (101325)^{\frac{2}{3}} \times \frac{(8,272 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}}{340} = 0,26 \text{ Па} \times \text{с}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицы 2, 3.

Таблица 2 – Результаты расчетов зоны поражения при взрыве паровоздушной смеси для дизельного топлива

Расстояние г, м	Избыточное давление взрыва ΔP , Па	Импульс фазы сжатия Γ^+ , Па \times с	Расстояние г, м	Избыточное давление взрыва ΔP , Па	Импульс фазы сжатия Γ^+ , Па \times с
0	14×10^4	18,81	15	$0,223 \times 10^4$	0,0019
5	$0,659 \times 10^4$	0,017	20	$0,172 \times 10^4$	0,0011
10	$0,334 \times 10^4$	0,0043	25	$0,132 \times 10^4$	0,00072

Таблица 3 – Результаты расчетов зоны поражения при взрыве паровоздушной смеси для бензина АИ-92

Расстояние г, м	Избыточное давление взрыва ΔP , Па	Импульс фазы сжатия Γ^+ , Па \times с	Расстояние г, м	Избыточное давление взрыва ΔP , Па	Импульс фазы сжатия Γ^+ , Па \times с
0	14×10^4	135,75	15	$1,54 \times 10^4$	1,42
5	$4,2 \times 10^4$	5,17	20	$1,17 \times 10^4$	0,39
10	$2,25 \times 10^4$	1,55	25	$0,94 \times 10^4$	0,26

Зависимость избыточного давления взрыва при быстром сгорании паровоздушной смеси в условиях открытого пространства в зависимости от расстояния г приведена на рисунке 2.

Зависимость импульса фазы сжатия Γ^+ при быстром сгорании паровоздушной смеси в условиях открытого пространства в зависимости от расстояния г приведена на рисунке 3.

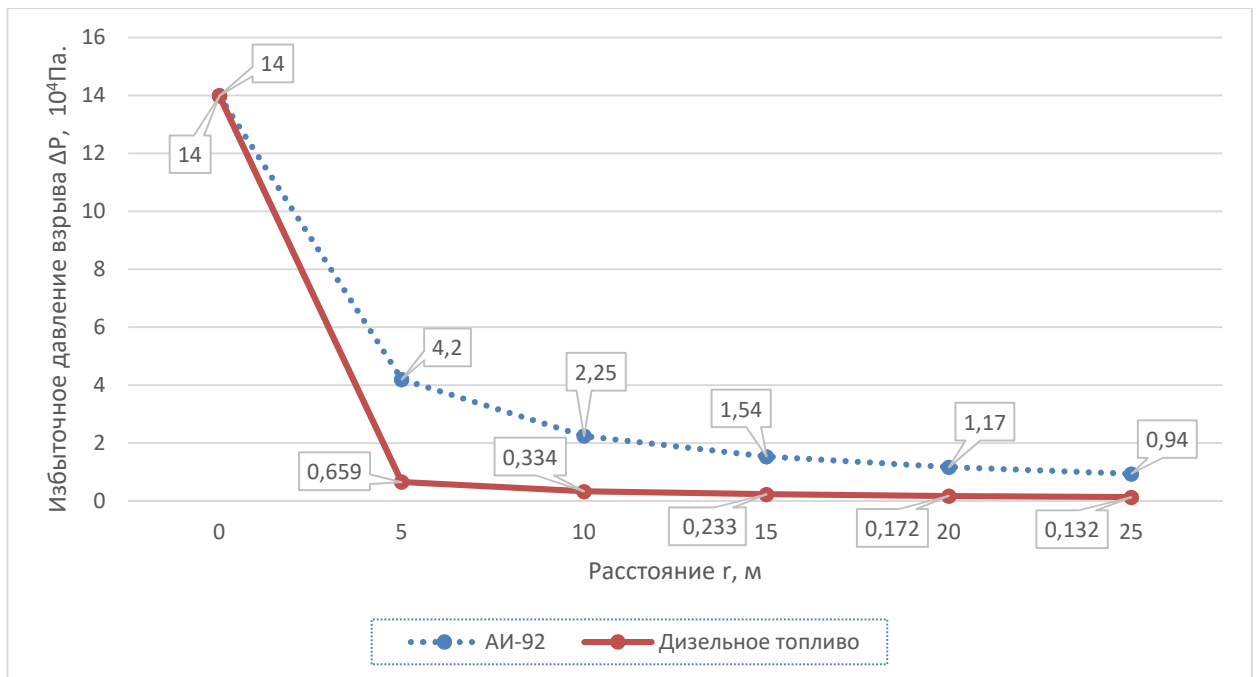


Рисунок 2 - Избыточное давление ΔP взрыва при быстром сгорании паровоздушной смеси в условиях открытого пространства

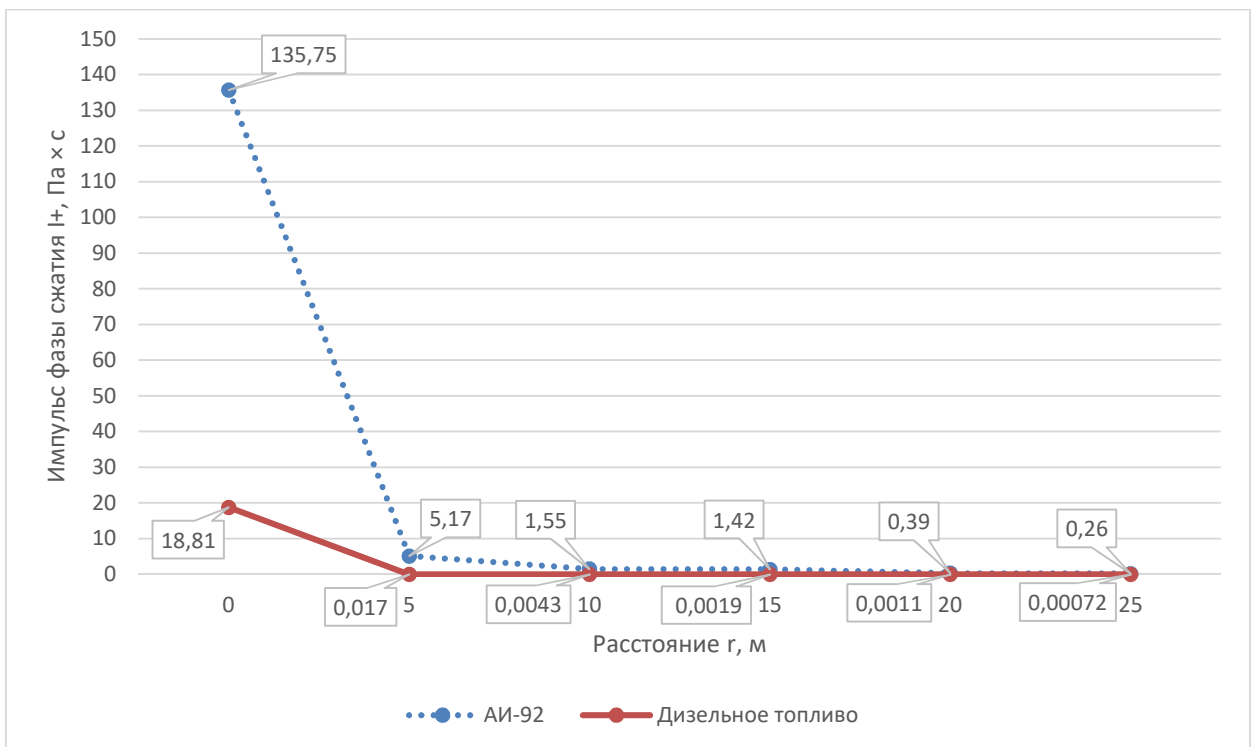


Рисунок 3 - Импульс фазы сжатия I^+ при быстром сгорании паровоздушной смеси в условиях открытого пространства

Выводы.

В результате расчета было определено избыточное давление волны взрыва на заданных расстояниях, максимальное значение которого в геометрическом центре разлива ЛВЖ равно 14×10^4 Па, согласно таблице П4.1 методики [2], при данном избыточном давлении будет наблюдаться полное разрушение зданий, на расстоянии 5 м для бензина АИ-92 при $\Delta P = 4,2 \times 10^4$ Па, наблюдается 50 % повреждения зданий, для дизельного топлива при $\Delta P = 0,659 \times 10^4$ Па, будет наблюдаться нижний порог повреждения человека волной давления, далее с увеличением расстояния наблюдается снижение значений до допустимых.

Так же были рассчитаны значения импульса фазы сжатия воздушных ударных волн, в зависимости от расстояния, в центре наблюдается максимальное значение равное $18,81 \text{ Па} \times \text{с}$ для дизельного топлива, и $135,75 \text{ Па} \times \text{с}$ для бензина АИ-92, далее происходит характерное снижение значений и на расстоянии 25 м равняется: для бензина АИ-92 $0,26 \text{ Па} \times \text{с}$, для дизельного топлива $0,00072 \text{ Па} \times \text{с}$.

3.4. Прогнозирование зоны поражения тепловым излучением «огненного шара»

При воздействии теплового излучения на топливный бак АТС возможно его разрушение, воспламенение и образование «огненного шара», представляющего собой крупномасштабное диффузионное горение под давлением.

«Огненный шар» представляет большую опасность для персонала, клиентов АЗС, зданий и сооружений как на АЗС, так и на ближайших территориях из-за высоких значений температуры (более $1000 \text{ }^\circ\text{C}$), интенсивности теплового излучения и других параметров.

Для расчета принимаем топливный бак объемом $0,2 \text{ м}^3$, и определяем параметры «огненного шара».

Эффективный диаметр «огненного шара»

$$D_s = 5,33 \times m^{0,327}, \quad (24)$$

где m - масса продукта, поступившего в окружающее пространство, для дизельного топлива $m = 160,836$ кг, для бензина АИ-92 $m = 152$ кг.

Для дизельного топлива:

$$D_s = 5,33 \times 160,836^{0,327} = 28,07 \text{ м.}$$

Для бензина АИ-92:

$$D_s = 5,33 \times 152^{0,327} = 27,6 \text{ м.}$$

Высота «огненного шара»

$$H = \frac{D_s}{2}, \quad (25)$$

Для дизельного топлива

$$H = \frac{28,07}{2} = 14,035 \text{ м,}$$

Для бензина АИ-92

$$H = \frac{27,6}{2} = 13,8 \text{ м.}$$

Коэффициент пропускания атмосферы

$$\tau = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(r^2 + H^2 - \frac{D_s}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (26)$$

где r – расстояние от человека до эпицентра «огненного шара», принимаем $r = 0, 20, 40, 60, 80$ и 100 м.

Для дизельного топлива:

$$\tau_0 = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(0^2 + 14,035^2 - \frac{28,07}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,991,$$

$$\tau_{20} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(20^2 + 14,035^2 - \frac{28,07}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,983,$$

$$\tau_{40} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(40^2 + 14,035^2 - \frac{28,07}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,971,$$

$$\tau_{60} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(60^2 + 14,035^2 - \frac{28,07}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,958,$$

$$\tau_{80} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(80^2 + 14,035^2 - \frac{28,07}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,945,$$

$$\tau_{100} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(100^2 + 14,035^2 - \frac{28,07}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,932.$$

Для бензина АИ-92:

$$\tau_0 = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(0^2 + 13,8^2 - \frac{27,6}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,991$$

$$\tau_{20} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(20^2 + 13,8^2 - \frac{27,6}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,983,$$

$$\tau_{40} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(40^2 + 13,8^2 - \frac{27,6}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,971,$$

$$\tau_{60} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(60^2 + 13,8^2 - \frac{27,6}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,958,$$

$$\tau_{80} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(80^2 + 13,8^2 - \frac{27,6}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,945,$$

$$\tau_{100} = \exp \left[-7 \times 10^{-4} \times \left(100^2 + 13,8^2 - \frac{27,6}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,932.$$

Угловой коэффициент облученности

$$F_q = \frac{\frac{H}{D_S} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{H}{D_S} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{r}{D_S} \right)^2 \right]^{1,5}}, \quad (27)$$

Для дизельного топлива:

$$F_{q(0)} = \frac{\frac{14,035}{28,07} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{14,035}{28,07} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{0}{28,07} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,25,$$

$$F_{q(20)} = \frac{\frac{14,035}{28,07} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{14,035}{28,07} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{20}{28,07} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,135,$$

$$F_{q(40)} = \frac{\frac{14,035}{28,07} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{14,035}{28,07} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{40}{28,07} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,047,$$

$$F_{q(60)} = \frac{\frac{14,035}{28,07} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{14,035}{28,07} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{60}{28,07} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,019,$$

$$F_{q(80)} = \frac{\frac{14,035}{28,07} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{14,035}{28,07} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{80}{28,07} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,009,$$

$$F_{q(100)} = \frac{\frac{14,035}{28,07} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{14,035}{28,07} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{100}{28,07} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,005.$$

Для бензина АИ-92:

$$F_{q(0)} = \frac{\frac{13,8}{27,06} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{13,8}{27,06} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{0}{27,06} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,241,$$

$$F_{q(20)} = \frac{\frac{13,8}{27,06} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{13,8}{27,06} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{20}{27,06} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,126,$$

$$F_{q(40)} = \frac{\frac{13,8}{27,06} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{13,8}{27,06} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{40}{27,06} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,043,$$

$$F_{q(60)} = \frac{\frac{13,8}{27,06} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{13,8}{27,06} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{60}{27,06} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,017,$$

$$F_{q(80)} = \frac{\frac{14,035}{28,07} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{13,8}{27,06} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{80}{27,06} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,008,$$

$$F_{q(100)} = \frac{\frac{13,8}{27,06} + 0,5}{4 \times \left[\left(\frac{13,8}{27,06} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{100}{27,06} \right)^2 \right]^{1,5}} = 0,004.$$

Длительность существования «огненного шара»

$$t_S = 0,92 \times m^{0,303}, \quad (28)$$

Для дизельного топлива:

$$t_S = 0,92 \times 160,836^{0,303} = 4,29 \text{ с.}$$

Для бензина АИ-92:

$$t_S = 0,92 \times 152,04^{0,303} = 4,22 \text{ с.}$$

Интенсивность теплового излучения «огненного шара»

$$q = E_f \times F_q \times \tau, \quad (29)$$

где E_f - среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени,

$$E_f = 350 \text{ кВт/м}^2 \text{ [2];}$$

F_q - угловой коэффициент облученности;

τ - коэффициент пропускания атмосферы.

Для дизельного топлива:

$$q_0 = 350 \times 0,25 \times 0,991 = 86,7 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{20} = 350 \times 0,135 \times 0,983 = 46,45 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{40} = 350 \times 0,047 \times 0,971 = 16 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{60} = 350 \times 0,019 \times 0.958 = 6,37 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{80} = 350 \times 0,009 \times 0.945 = 2,98 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{100} = 350 \times 0,005 \times 0.932 = 1,63 \text{ кВт/м}^2.$$

Для бензина АИ-92:

$$q_0 = 350 \times 0,241 \times 0.991 = 83,6 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{20} = 350 \times 0,126 \times 0,983 = 43,35 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{40} = 350 \times 0,043 \times 0.971 = 14,6 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{60} = 350 \times 0,017 \times 0.958 = 5,7 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{80} = 350 \times 0,008 \times 0.945 = 2,65 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{100} = 350 \times 0,004 \times 0.932 = 1,31 \text{ кВт/м}^2.$$

Результаты расчетов для дизельного топлива сведены в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты расчетов зоны поражения тепловым излучением «огненного шара» для дизельного топлива

Расстояние r, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²	Расстояние r, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²
0	86,7	60	6,37
20	46,45	80	2,98
40	16	100	1,63

Результаты расчетов для бензина АИ-92 сведены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты расчетов зоны поражения тепловым излучением «огненного шара» для бензина АИ-92

Расстояние r, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²	Расстояние r, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²
0	83,6	60	5,7
20	43,35	80	2,65
40	14,6	100	1,31

Зависимость интенсивности теплового излучения «огненного шара» в зависимости от расстояния r приведена на рисунке 4.

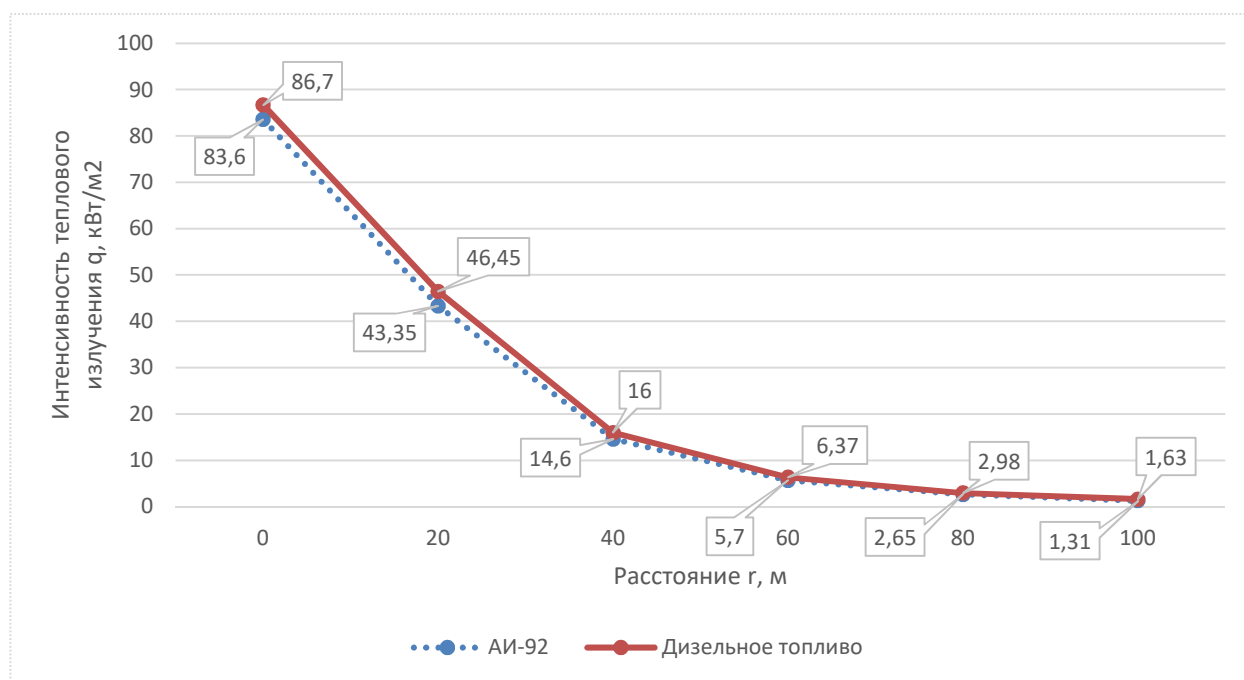


Рисунок 4 - Интенсивность теплового излучения «огненного шара» q при разрушении автомобильного бака

Выводы.

При прогнозировании зоны поражения тепловым излучением «огненного шара» важны такие характеристики как интенсивность излучения, эффективный диаметр и длительность существования «огненного шара», которые характеризуют импульсное воздействие «огненного шара».

В ходе расчета были определены параметры «огненного шара» для дизельного топлива, с массой продукта поступившего в окружающее пространство равной 160,836 кг и для бензина АИ-92 - 152 кг.

Для дизельного топлива: интенсивность теплового излучения в точке под центром «огненного шара» составила 86,7 кВт/м², эффективный диаметр 28,07 м, длительность существования 4,29 с. Для бензина марки АИ-92: интенсивность теплового излучения в геометрическом центре «огненного шара» составила 83,6 кВт/м², эффективный диаметр 27,06 м, длительность существования 4,22 с.

В соответствии с значениями, приведенными в таблице П4.5 методических указаний [2], в точке под центром «огненного шара» человек получит ожоги несовместимые с жизнью, на расстоянии 20 метров от точки под центром «огненного шара», человек получит ожог второй степени, далее, с увеличением расстояния, человек может находиться длительное время без негативных последствий для здоровья.

3.5 Прогнозирование зоны поражения тепловым излучением пожара-пролива

При пожарах проливах в открытом пространстве, возникающих в результате аварийных ситуаций на автозаправочных станциях, происходит неконтролируемое горение, которое представляет собой сложный физико-химический процесс, на скорость которого влияет не только химическая реакция, приток окислителя (кислорода воздуха) из окружающей среды, но и количество испарившегося жидко-моторного топлива.

3.5.1 Определение количества жидко-моторного топлива, испарившегося при проливе

Объём поступившего в окружающее пространство жидко-моторного топлива, которое может образовывать взрывоопасные паровоздушные смеси или проливы жидко-моторного топлива на подстилающие поверхности, определяют, исходя из следующих ситуаций:

- производится расчет аварии одной из ТРК или трубопровода. Топливораздаточная колонка автозаправочной станции, располагается под металлической крышей для защиты клиентов от атмосферных осадков при оплате и заправке автотранспортных средств, она имеет возможность производить заправку АТС на две стороны одновременно;

- автоматическая установка пожаротушения, согласно НПБ 88–2001, обеспечивает возможность тушения пожара вокруг топливораздаточной колонки на площади возможного разлива жидко-моторного топлива, которая составляет $S = 63 \text{ м}^2$;

- все содержимое трубопровода или часть жидко-моторного топлива поступает в окружающее пространство;

- при разгерметизации аппарата происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих резервуар по прямому и обратному потоку в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов. Расчетное время отключения трубопроводов определяется в каждом случае индивидуально, в зависимости от реальной обстановки, и должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорные устройства и их надежности, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

При отсутствии данных допускается расчетное время отключения технологических трубопроводов принимать равным: времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов; 120 с, если вероятность

отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов; 300 с при ручном отключении;

- в качестве расчетной температуры при пожароопасной ситуации с подземно расположенным оборудованием – температуру грунта, условно равную максимальной среднемесячной температуре окружающего воздуха в наиболее теплое время года;

- длительность испарения ЖМТ с поверхности пролива принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Для проливов ЖМТ до 20 кг время испарения допускается принимать равным 900 с.

Расчеты производятся при абсолютной максимальной расчетной температуре воздуха в г. Красноярск $t_p = 36$ °С и скорости движения воздуха – 1 м/с.

Давление насыщенных паров P_S ЖМТ при расчетной температуре определяем по формуле

$$P_S = 10^{A - \frac{B}{C_a + t_p}}, \quad (30)$$

Для дизельного топлива:

$$P_S = 10^{5,07818 - \frac{1255,73}{199,523 + 36}} = 0,558 \text{ кПа.}$$

Для бензина марки АИ-92:

$$P_S = 10^{4,99831 - \frac{664,976}{221,695 + 36}} = 261,718 \text{ кПа.}$$

Концентрация насыщенных паров ЖМТ при расчетной температуре

$$\varphi_S = \left(\frac{P_S}{P_0} \right) \times 100\%, \quad (31)$$

Для дизельного топлива:

$$\varphi_S = \left(\frac{0,558}{101,325} \right) \times 100\% = 0,55 \text{ \% (об.)}.$$

Для бензина марки АИ-92:

$$\varphi_S = \left(\frac{261,718}{101,325} \right) \times 100\% = 258,3 \text{ \% (об.)}.$$

Интенсивность испарения ЖМТ

$$W = 10^{-6} \times (M)^{\frac{1}{2}} \times P_S, \quad (32)$$

где M – молярная масса, $M_{\text{диз.топ}} = 172,3$ кг/кмоль, $M_{\text{АИ-92}} = 112,88$ кг/кмоль.

Для дизельного топлива:

$$W = 10^{-6} \times (172,3)^{\frac{1}{2}} \times 0,558 = 0,0000073 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)}.$$

Для бензина марки АИ-92:

$$W = 10^{-6} \times (112,88)^{\frac{1}{2}} \times 261,718 = 0,00278 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)}.$$

Плотность паров ЖМТ при расчетной температуре и атмосферном давлении

$$\rho_{\text{П}} = \frac{M}{V_0 \times (1 + 0,00367 \times t_p)}, \quad (33)$$

где t_p – расчетная температура $t_p = 36$ °С;

M – молярная масса, $M_{\text{диз.топ}} = 172,3$ кг/кмоль, $M_{\text{АИ-92}} = 112,88$ кг/кмоль;

V_0 – молярный объём, м³/кмоль.

Для дизельного топлива:

$$\rho_{\text{П}} = \frac{172,3}{22,4 \times (1 + 0,00367 \times 36)} = 6,79 \text{ кг/м}^3.$$

Для бензина марки АИ–92:

$$\rho_{\text{П}} = \frac{112,88}{22,4 \times (1 + 0,00367 \times 36)} = 4,451 \text{ кг/м}^3.$$

Объём ЖМТ, поступившего на территорию АЗС

$$V = q_{\text{Н}} \times \tau_{\text{откл}} + l_{\text{шл}} \times \left(\frac{\pi \times d_{\text{шл}}^2}{4} \right), \quad (34)$$

где $q_{\text{Н}}$ - производительность насоса $q_{\text{Н}} = 100$ л/мин = $1,667 \times 10^{-3}$ м³/с;

$\tau_{\text{откл}}$ - продолжительность срабатывания отсекающих устройств в системе по прямому току $\tau_{\text{откл}} = 1$ с;

$l_{\text{шл}}$ – длина раздаточного рукава, 4 м.

$$V = 1,667 \times 10^{-3} \times 1 + 4 \times \left(\frac{3,14 \times 0,032^2}{4} \right) = 0,005 \text{ м}^3.$$

Масса ЖМТ, поступившего на территорию АЗС

$$m_{\text{ЖМТ}} = \rho_{\text{Ж}} \times V, \quad (35)$$

где $\rho_{\text{Ж}}$ – плотность, кг/м³.

Для дизельного топлива:

$$m_{\text{ЖМТ}} = 804 \times 0,005 = 4,02 \text{ кг.}$$

Для бензина марки АИ-92:

$$m_{\text{ЖМТ}} = 760 \times 0,005 = 3,8 \text{ кг.}$$

Площадь пролива при растекании ЖМТ

$$F = f_p \times V, \tag{36}$$

где f_p - коэффициент разлития при растекании на бетонном или асфальтобетонном покрытии $f_p = 150 \text{ м}^{-1}$.

$$F = 150 \times 0,005 = 0,75 \text{ м}^2.$$

Так как масса ЖМТ, поступившего на территорию АЗС, менее 20 кг, то длительность испарения ЖМТ составит

$$\tau = \left(\min \left(\frac{m_{\text{ЖМТ}}}{F \times W} \right); 900 \right) = 900 \text{ с.} \tag{37}$$

Масса испарившегося ЖМТ за время τ составит

$$m_{\text{И}} = W \times F \times \tau, \tag{38}$$

Для дизельного топлива:

$$m_{\text{И}} = 0,0000073 \times 0,75 \times 900 = 0,005 \text{ кг.}$$

Для бензина марки АИ-92:

$$m_{И} = 0,00278 \times 0,75 \times 900 = 1,88 \text{ кг.}$$

Эффективный диаметр пролива ЖМТ

$$d = \left[\frac{(4 \times F)}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (39)$$

где F - площадь пролива, м².

$$d = \left[\frac{(4 \times 0,75)}{3,14} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,98 \text{ м.}$$

Высота пламени

$$H = 42 \times d \times \left[\frac{m_y}{\rho_B \times \sqrt{g \times d}} \right]^{0,61}, \quad (40)$$

где m_y - удельная массовая скорость выгорания топлива, для дизельного топлива $m_y = 0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})$, для бензина АИ-92 $m_y = 0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})$;

ρ_B - плотность окружающего воздуха, $\rho_B = 1.1455 \text{ кг}/\text{м}^3$;

g - ускорение свободного падения, $(9,81 \text{ м}/\text{с}^2)$.

Для дизельного топлива:

$$H = 42 \times 0,98 \times \left[\frac{0,04}{1.1455 \times \sqrt{9,81 \times 0,98}} \right]^{0,61} = 2,7 \text{ м.}$$

Для бензина марки АИ-92:

$$H = 42 \times 0,98 \times \left[\frac{0,06}{1,1455 \times \sqrt{9,81 \times 0,98}} \right]^{0,61} = 3,42 \text{ м.}$$

Коэффициенты

$$h = 2 \times \left(\frac{H}{d} \right), \quad (41)$$

Для дизельного топлива:

$$h = 2 \times \left(\frac{2,7}{0,98} \right) = 5,5.$$

Для бензина марки АИ-92:

$$h = 2 \times \left(\frac{3,42}{0,98} \right) = 6,98.$$

$$S = 2 \times \left(\frac{r}{d} \right), \quad (42)$$

где r - расстояние от центра пролива до облучаемого объекта, принимаем 1, 5, 10, 15, 20, 25 м.

$$S_1 = 2 \times \left(\frac{1}{0,98} \right) = 2,04,$$

$$S_5 = 2 \times \left(\frac{5}{0,98} \right) = 10,2,$$

$$S_{10} = 2 \times \left(\frac{10}{0,98} \right) = 20,41,$$

$$S_{15} = 2 \times \left(\frac{15}{0,98} \right) = 30,61,$$

$$S_{20} = 2 \times \left(\frac{20}{0,98} \right) = 40,82,$$

$$S_{25} = 2 \times \left(\frac{25}{0,98} \right) = 51,02.$$

$$A = \frac{(h^2 + S^2 + 1)}{(2 \times S)}, \quad (43)$$

Для дизельного топлива:

$$A_1 = \frac{(5,5^2 + 2,04^2 + 1)}{(2 \times 2,04)} = 8,7,$$

$$A_5 = \frac{(5,5^2 + 10,2^2 + 1)}{(2 \times 10,2)} = 6,63,$$

$$A_{10} = \frac{(5,5^2 + 20,41^2 + 1)}{(2 \times 20,41)} = 10,97,$$

$$A_{15} = \frac{(5,5^2 + 30,61^2 + 1)}{(2 \times 30,61)} = 15,82,$$

$$A_{20} = \frac{(5,5^2 + 40,82^2 + 1)}{(2 \times 40,82)} = 20,8,$$

$$A_{25} = \frac{(5,5^2 + 51,02^2 + 1)}{(2 \times 51,02)} = 25,82,$$

Для бензина марки АИ-92:

$$A_1 = \frac{(6,98^2 + 2,04^2 + 1)}{(2 \times 2,04)} = 13,2,$$

$$A_5 = \frac{(6,98^2+10,2^2+1)}{(2 \times 10,2)} = 7,54,$$

$$A_{10} = \frac{(6,98^2+20,41^2+1)}{(2 \times 20,41)} = 11,42,$$

$$A_{15} = \frac{(6,98^2+30,61^2+1)}{(2 \times 30,61)} = 16,12,$$

$$A_{20} = \frac{(6,98^2+40,82^2+1)}{(2 \times 40,82)} = 21,02,$$

$$A_{25} = \frac{(6,98^2+51,02^2+1)}{(2 \times 51,02)} = 26,$$

$$B = \frac{(1+S^2)}{(2 \times S)}, \tag{44}$$

$$B_0 = \frac{(1+2,04)}{(2 \times 2,04)} = 0,74,$$

$$B_5 = \frac{(1+10,2^2)}{(2 \times 10,2)} = 5,15,$$

$$B_{10} = \frac{(1+20,41^2)}{(2 \times 20,41)} = 10,23,$$

$$B_{15} = \frac{(1+30,61^2)}{(2 \times 30,61)} = 15,32,$$

$$B_{20} = \frac{(1+40,82^2)}{(2 \times 40,82)} = 20,42,$$

$$B_{25} = \frac{(1+51,02^2)}{(2 \times 51,02)} = 25,52.$$

Фактор облученности для вертикальной F_V площади

$$F_V = \frac{1}{\pi} \times \left[\frac{1}{S} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}} \right) - \frac{h}{S} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(A+1) \times (S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right], \quad (45)$$

Для дизельного топлива:

$$F_{V(1)} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{2,04} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{5,5}{\sqrt{2,04^2-1}} \right) - \frac{5,5}{2,04} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{2,04-1}{2,04+1}} \right) - \frac{8,7}{\sqrt{13,2^2-1}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(8,7+1) \times (2,04-1)}{(8,7-1)(2,04+1)}} \right) \right\} \right] = 0,244,$$

$$F_{V_5} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{10,2} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{5,5}{\sqrt{10,2^2-1}} \right) - \frac{5,5}{10,2} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{10,2-1}{10,2+1}} \right) - \frac{6,63}{\sqrt{6,63^2-1}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(6,63+1) \times (10,2-1)}{(6,63-1)(10,2+1)}} \right) \right\} \right] = 0,03,$$

$$F_{V_{10}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{20,41} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{5,5}{\sqrt{20,41^2-1}} \right) - \frac{5,5}{20,41} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{20,41-1}{20,41+1}} \right) - \frac{10,97}{\sqrt{10,97^2-1}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(10,97+1) \times (20,41-1)}{(10,97-1)(20,41+1)}} \right) \right\} \right] = \\ = 0,008,$$

$$F_{V_{15}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{30,61} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{5,5}{\sqrt{30,61^2-1}} \right) - \frac{5,5}{30,61} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{30,61-1}{30,61+1}} \right) - \frac{15,82}{\sqrt{15,82^2-1}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(15,82+1) \times (30,61-1)}{(15,82-1)(30,61+1)}} \right) \right\} \right] = \\ = 0,004,$$

$$F_{V_{20}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{40,82} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{5,5}{\sqrt{40,82^2-1}} \right) - \frac{5,5}{40,82} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{40,82-1}{40,82+1}} \right) - \frac{20,8}{\sqrt{20,8^2-1}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(20,8+1) \times (40,82-1)}{(20,8-1)(40,82+1)}} \right) \right\} \right] = \\ = 0,002,$$

$$F_{V_{25}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{51,02} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{5,5}{\sqrt{51,02^2 - 1}} \right) - \frac{5,5}{51,02} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{51,02 - 1}{51,02 + 1}} - \frac{25,82}{\sqrt{25,82^2 - 1}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(25,82 + 1) \times (51,02 - 1)}{(25,82 - 1)(51,02 + 1)}} \right) \right\} \right] = \\ = 0,001.$$

Для бензина АИ-92:

$$F_{V_{(1)}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{2,04} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{6,98}{\sqrt{2,04^2 - 1}} \right) - \frac{6,98}{2,04} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{2,04 - 1}{2,04 + 1}} - \frac{13,2}{\sqrt{13,2^2 - 1}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(13,2 + 1) \times (0 - 1)}{(13,2 - 1)(0 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,245,$$

$$F_{V_5} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{10,2} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{6,98}{\sqrt{10,2^2 - 1}} \right) - \frac{6,98}{10,2} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{10,2 - 1}{10,2 + 1}} - \frac{7,54}{\sqrt{7,54^2 - 1}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(7,54 + 1) \times (10,2 - 1)}{(7,54 - 1)(10,2 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,035,$$

$$F_{V_{10}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{20,41} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{6,98}{\sqrt{20,41^2 - 1}} \right) - \frac{6,98}{20,41} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{20,41 - 1}{20,41 + 1}} - \frac{11,42}{\sqrt{11,42^2 - 1}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(11,42 + 1) \times (20,41 - 1)}{(11,42 - 1)(20,41 + 1)}} \right) \right\} \right] = \\ = 0,01,$$

$$F_{V_{15}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{30,61} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{6,98}{\sqrt{30,61^2 - 1}} \right) - \frac{6,98}{30,61} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{30,61 - 1}{30,61 + 1}} - \frac{16,12}{\sqrt{16,12^2 - 1}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(16,12 + 1) \times (30,61 - 1)}{(16,12 - 1)(30,61 + 1)}} \right) \right\} \right] = \\ = 0,005,$$

$$F_{V_{20}} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{40,82} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{6,98}{\sqrt{40,82^2 - 1}} \right) - \frac{6,98}{40,82} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{40,82 - 1}{40,82 + 1}} - \frac{21,02}{\sqrt{21,02^2 - 1}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(21,02 + 1) \times (40,82 - 1)}{(21,02 - 1)(40,82 + 1)}} \right) \right\} \right] = \\ = 0,003$$

$$F_{V25} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{1}{51,02} \times \operatorname{arctg} \left(\frac{6,98}{\sqrt{51,02^2-1}} \right) - \frac{6,98}{51,02} \times \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{51,02-1}{51,02+1}} - \frac{26}{\sqrt{26^2-1}} \right) \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(26+1) \times (51,02-1)}{(26-1)(51,02+1)}} \right) \right\} \right] =$$

$$= 0,002$$

Фактор облученности для горизонтальной F_H площади

$$F_H = \frac{1}{\pi} \times \left[\frac{\left(B - \left(\frac{1}{S} \right) \right)}{\sqrt{B^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(B+1) \times (S-1)}{(B-1) \times (S+1)}} \right) - \frac{\left(A - \left(\frac{1}{S} \right) \right)}{\sqrt{A^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(A+1) \times (S-1)}{(A-1) \times (S+1)}} \right) \right], \quad (46)$$

Для дизельного топлива:

$$F_{H1} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(0,74 - \left(\frac{1}{2,04} \right) \right)}{\sqrt{0,74^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(0,74+1) \times (2,04-1)}{(0,74-1) \times (2,04+1)}} \right) - \frac{\left(8,7 - \left(\frac{1}{2,04} \right) \right)}{\sqrt{8,7^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(8,7+1) \times (2,04-1)}{(8,7-1) \times (2,04+1)}} \right) \right] = 0,016,$$

$$F_{H5} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(5,15 - \left(\frac{1}{10,2} \right) \right)}{\sqrt{5,15^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(5,15+1) \times (10,2-1)}{(5,15-1) \times (10,2+1)}} \right) - \frac{\left(6,63 - \left(\frac{1}{10,2} \right) \right)}{\sqrt{6,63^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(6,63+1) \times (10,2-1)}{(6,63-1) \times (10,2+1)}} \right) \right] = 0,008,$$

$$F_{H10} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(10,23 - \left(\frac{1}{20,41} \right) \right)}{\sqrt{10,23^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(10,23+1) \times (20,41-1)}{(10,23-1) \times (20,41+1)}} \right) - \frac{\left(10,97 - \left(\frac{1}{20,41} \right) \right)}{\sqrt{10,97^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(10,97+1) \times (20,41-1)}{(10,97-1) \times (20,41+1)}} \right) \right] = 0,001,$$

$$F_{H15} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(15,32 - \left(\frac{1}{30,61} \right) \right)}{\sqrt{15,32^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(15,32+1) \times (30,61-1)}{(15,32-1) \times (30,61+1)}} \right) - \frac{\left(15,82 - \left(\frac{1}{30,61} \right) \right)}{\sqrt{15,82^2-1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(15,82+1) \times (30,61-1)}{(15,82-1) \times (30,61+1)}} \right) \right] = 0,0004,$$

$$F_{H20} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(20,42 - \left(\frac{1}{40,82}\right)\right)}{\sqrt{20,42^2 - 1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(20,42+1) \times (40,82-1)}{(20,42-1) \times (40,82+1)}} \right) - \frac{\left(20,8 - \left(\frac{1}{40,82}\right)\right)}{\sqrt{20,8^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(20,8+1) \times (40,82-1)}{(20,8-1) \times (40,82+1)}} \right) \right] =$$

$$= 0,0002,$$

$$F_{H25} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(25,52 - \left(\frac{1}{51,02}\right)\right)}{\sqrt{25,52^2 - 1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(25,52+1) \times (51,02-1)}{(25,52-1) \times (51,02+1)}} \right) - \frac{\left(25,82 - \left(\frac{1}{51,02}\right)\right)}{\sqrt{25,82^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(25,82+1) \times (51,02-1)}{(25,82-1) \times (51,02+1)}} \right) \right] =$$

$$= 0,00007.$$

Для бензина АИ-92:

$$F_{H1} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(0,74 - \left(\frac{1}{2,04}\right)\right)}{\sqrt{0,74^2 - 1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(0,74+1) \times (2,04-1)}{(0,74-1) \times (2,04+1)}} \right) - \frac{\left(13,2 - \left(\frac{1}{2,04}\right)\right)}{\sqrt{13,2^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(13,2+1) \times (2,04-1)}{(13,2-1) \times (2,04+1)}} \right) \right] = 0,02,$$

$$F_{H5} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(5,15 - \left(\frac{1}{10,2}\right)\right)}{\sqrt{5,15^2 - 1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(5,15+1) \times (10,2-1)}{(5,15-1) \times (10,2+1)}} \right) - \frac{\left(7,54 - \left(\frac{1}{10,2}\right)\right)}{\sqrt{7,54^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(7,54+1) \times (10,2-1)}{(7,54-1) \times (10,2+1)}} \right) \right] = 0,011,$$

$$F_{H10} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(10,23 - \left(\frac{1}{20,41}\right)\right)}{\sqrt{10,23^2 - 1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(10,23+1) \times (20,41-1)}{(10,23-1) \times (20,41+1)}} \right) - \frac{\left(11,42 - \left(\frac{1}{20,41}\right)\right)}{\sqrt{11,42^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(11,42+1) \times (20,41-1)}{(11,42-1) \times (20,41+1)}} \right) \right] = 0,002,$$

$$F_{H15} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(15,32 - \left(\frac{1}{30,61}\right)\right)}{\sqrt{15,32^2 - 1}} \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(15,32+1) \times (30,61-1)}{(15,32-1) \times (30,61+1)}} \right) - \frac{\left(16,12 - \left(\frac{1}{30,61}\right)\right)}{\sqrt{16,12^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(16,12+1) \times (30,61-1)}{(16,12-1) \times (30,61+1)}} \right) \right] = 0,0005,$$

$$F_{H20} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(20,42 - \left(\frac{1}{40,82}\right)\right)}{\sqrt{20,42^2 - 1}} \times \arctg\left(\sqrt{\frac{(20,42+1) \times (40,82-1)}{(20,42-1) \times (40,82+1)}}\right) - \frac{\left(21,02 - \left(\frac{1}{40,82}\right)\right)}{\sqrt{21,02^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \arctg\left(\sqrt{\frac{(21,02+1) \times (40,82-1)}{(21,02-1)(40,82+1)}}\right) \right] =$$

$$= 0,0002,$$

$$F_{H25} = \frac{1}{3,14} \times \left[\frac{\left(25,52 - \left(\frac{1}{51,02}\right)\right)}{\sqrt{25,52^2 - 1}} \times \arctg\left(\sqrt{\frac{(25,52+1) \times (51,02-1)}{(25,52-1) \times (51,02+1)}}\right) - \frac{\left(26 - \left(\frac{1}{51,02}\right)\right)}{\sqrt{26^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \arctg\left(\sqrt{\frac{(26+1) \times (51,02-1)}{(26-1)(51,02+1)}}\right) \right] =$$

$$= 0,0001.$$

Угловой коэффициент облученности

$$F_q = \sqrt{(F_V)^2 + (F_H)^2}, \quad (47)$$

Для дизельного топлива:

$$F_{q_1} = \sqrt{(0,244)^2 + (0,016)^2} = 0,244,$$

$$F_{q_5} = \sqrt{(0,03)^2 + (0,008)^2} = 0,03,$$

$$F_{q_{10}} = \sqrt{(0,008)^2 + (0,001)^2} = 0,008,$$

$$F_{q_{15}} = \sqrt{(0,004)^2 + (0,0004)^2} = 0,004,$$

$$F_{q_{20}} = \sqrt{(0,002)^2 + (0,0002)^2} = 0,002,$$

$$F_{q_{25}} = \sqrt{(0,001)^2 + (0,00007)^2} = 0,001.$$

Для бензина АИ-92:

$$F_{q_1} = \sqrt{(0,245)^2 + (0,02)^2} = 0,246,$$

$$F_{q_5} = \sqrt{(0,035)^2 + (0,011)^2} = 0,037,$$

$$F_{q_{10}} = \sqrt{(0,01)^2 + (0,002)^2} = 0,01,$$

$$F_{q_{15}} = \sqrt{(0,005)^2 + (0,0005)^2} = 0,005,$$

$$F_{q_{20}} = \sqrt{(0,003)^2 + (0,0002)^2} = 0,003,$$

$$F_{q_{25}} = \sqrt{(0,002)^2 + (0,0001)^2} = 0,002,$$

Коэффициент пропускания атмосферы

$$\tau = \exp[-7 \times 10^{-4} \times (r - 0,5 \times d)], \quad (48)$$

где d – эффективный диаметр пролива, м.

$$\tau_1 = \exp[-7 \times 10^{-4} \times (1 - 0,5 \times 0,98)] = 1,$$

$$\tau_5 = \exp[-7 \times 10^{-4} \times (5 - 0,5 \times 0,98)] = 0,997,$$

$$\tau_{10} = \exp[-7 \times 10^{-4} \times (10 - 0,5 \times 0,98)] = 0,993,$$

$$\tau_{15} = \exp[-7 \times 10^{-4} \times (15 - 0,5 \times 0,98)] = 0,99,$$

$$\tau_{20} = \exp[-7 \times 10^{-4} \times (20 - 0,5 \times 0,98)] = 0,986,$$

$$\tau_{25} = \exp[-7 \times 10^{-4} \times (25 - 0,5 \times 0,98)] = 0,983.$$

Интенсивность теплового излучения

$$q = E_t \times F_q \times \tau, \quad (49)$$

где E_t - среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²;

F_q - угловой коэффициент облученности;

τ - коэффициент пропускания атмосферы.

Для дизельного топлива:

$$q_1 = 40 \times 0,244 \times 1 = 9,76 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_5 = 40 \times 0,03 \times 0,997 = 1,17 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{10} = 40 \times 0,008 \times 0,993 = 0,32 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{15} = 40 \times 0,004 \times 0,99 = 0,16 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{20} = 40 \times 0,002 \times 0,986 = 0,08 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{25} = 40 \times 0,001 \times 0,983 = 0,04 \text{ кВт/м}^2.$$

Для бензина АИ-92:

$$q_1 = 60 \times 0,246 \times 1 = 14,76 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_5 = 60 \times 0,037 \times 0,997 = 2,21 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{10} = 60 \times 0,01 \times 0,993 = 0,596 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{15} = 60 \times 0,005 \times 0,99 = 0,297 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{20} = 60 \times 0,003 \times 0,986 = 0,18 \text{ кВт/м}^2,$$

$$q_{25} = 60 \times 0,002 \times 0,983 = 0,118 \text{ кВт/м}^2.$$

Результаты расчетов сведены в таблицы 6, 7.

Таблица 6 - Результаты расчетов зоны поражения тепловым излучением пожара пролива для дизельного топлива

Расстояние г, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²	Расстояние г, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²
1	9,76	15	0,16
5	1,17	20	0,08
10	0,32	25	0,04

Таблица 7 - Результаты расчетов зоны поражения тепловым излучением пожара пролива для бензина АИ-92

Расстояние г, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²	Расстояние г, м	Интенсивность теплового излучения q, кВт/м ²
1	14,76	15	0,297
5	2,21	20	0,18
10	0,596	25	0,118

Зависимость интенсивности теплового излучения пожара пролива в зависимости от расстояния г приведена на рисунке 5.

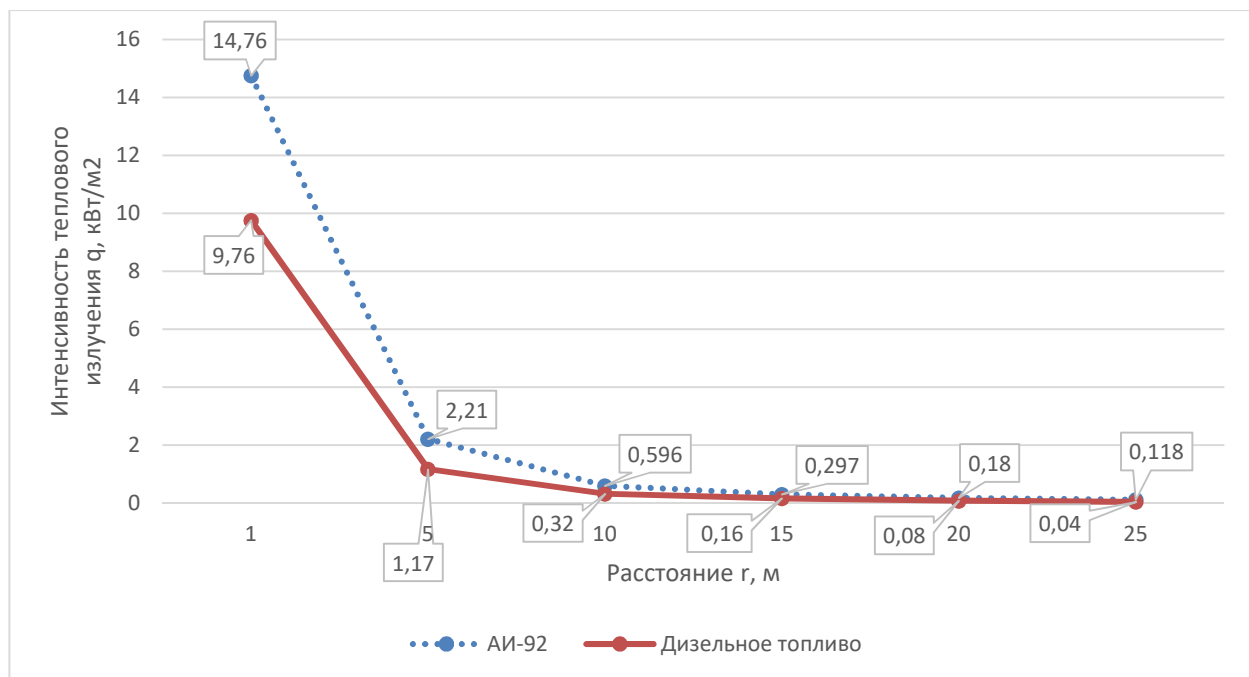


Рисунок 5 - Интенсивность теплового излучения пожара пролива q

Выводы.

В результате расчета сценария аварии на ТРК автозаправочной станции было определено, что количество поступившего в окружающее пространство ЖМТ за время срабатывания отсекающих устройств равно $0,005 \text{ м}^3$, массой $4,02 \text{ кг}$ дизельного топлива и $3,8 \text{ кг}$ бензина АИ-92, площадь пролива при растекании $F = 0,75 \text{ м}^2$, эффективным диаметром $0,98 \text{ м}$.

В соответствии с таблицей П 4.4 методики [2], при интенсивности теплового излучения пожара пролива равной $1,17 \text{ кВт/м}^2$ для дизельного топлива и $2,21 \text{ кВт/м}^2$ для бензина АИ-92, на расстоянии 5 м от геометрического центра пролива, для дизельного топлива: человек может находиться в безопасности в течении длительного времени, а для бензина АИ-92 только в брезентовой одежде.

4 Расчет условной вероятности поражения человека

Для оценки риска гибели и выживания человека при возможных аварийных ситуациях, когда поражающие факторы могут существенно превышать допустимые значения, используют пробит-функцию P_r , характеризующую зависимость «доза – эффект». Эта функция связывает вероятность гибели и выживания человека с уровнем разового воздействия поражающего фактора (опасного воздействия).

Пробит-функция P_r соответствует выражению

$$P_r(D) = a + b \times \ln D, \quad (50)$$

где D – доза опасного воздействия, полученная человеком, зависящая от экспозиции, т.е. времени, в течение которого человек подвергался воздействию;

a и b – эмпирические коэффициенты, отражающие опасность воздействия негативного фактора и восприимчивость к нему человека.

Для разных поражающих факторов пробит-функция P_r , представленная в таблице 8, имеет различные значения, определенные путем медико-биологических исследований.

Таблица 8 - Значения условной вероятности поражения человека в зависимости от величины пробит-функции P_r

Условная вероятность поражения, %	Пробит-функция P_r									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	–	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,90	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,96	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50

Окончание таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

4.1 Расчет условной вероятности поражения человека при взрыве паровоздушной смеси

В результате воздействия ударной волны на организм человека можно наблюдать как прямое, так и косвенное воздействие. Избыточное давление во фронте ударной волны оказывает прямое действие. Человек получает резкий удар в результате мгновенного повышения и сжатия со всех сторон. Давление скоростного напора аналогично оказывает прямое действие, в результате которого человек может быть отброшен и травмирован. Косвенное воздействие возникает в результате образования различных обломков технологического оборудования, зданий и сооружений.

Для оценки воздействия волны давления на человека, находящегося в здании, используется пробит-функция P_r вида

$$P_r = 5,0 - 0,26 \times \ln V, \quad (51)$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3}, \quad (52)$$

где ΔP – избыточное давление взрыва, Па;

I^+ - импульс фазы сжатия, Па × с.

Для дизельного топлива:

$$V_0 = \left(\frac{17500}{14 \times 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{18,81} \right)^{9,3} = 112 \times 10^9,$$

$$V_5 = \left(\frac{17500}{0,659 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{0,017}\right)^{9,3} = 2,3 \times 10^{39},$$

$$V_{10} = \left(\frac{17500}{0,334 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{0,0043}\right)^{9,3} = 8,1 \times 10^{44},$$

$$V_{15} = \left(\frac{17500}{0,223 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{0,0019}\right)^{9,3} = 1,61 \times 10^{48},$$

$$V_{20} = \left(\frac{17500}{0,172 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{0,0011}\right)^{9,3} = 2,6 \times 10^{50},$$

$$V_{25} = \left(\frac{17500}{0,132 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{0,00072}\right)^{9,3} = 1,34 \times 10^{52}.$$

Для бензина АИ-92:

$$V_0 = \left(\frac{17500}{14 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{135,75}\right)^{9,3} = 1,16 \times 10^3,$$

$$V_5 = \left(\frac{17500}{4,2 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{5,17}\right)^{9,3} = 1,84 \times 10^{16},$$

$$V_{10} = \left(\frac{17500}{2,25 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1,55}\right)^{9,3} = 1,35 \times 10^{21},$$

$$V_{15} = \left(\frac{17500}{1,54 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1,42}\right)^{9,3} = 3,05 \times 10^{21},$$

$$V_{20} = \left(\frac{17500}{1,17 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{0,39}\right)^{9,3} = 5,05 \times 10^{26},$$

$$V_{25} = \left(\frac{17500}{0,94 \times 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{0,26}\right)^{9,3} = 2,19 \times 10^{28}.$$

Для дизельного топлива:

$$P_{r_0} = 5,0 - 0,26 \times \ln(112 \times 10^9) = -1,615,$$

$$P_{r_5} = 5,0 - 0,26 \times \ln(2,3 \times 10^{39}) = -18,6,$$

$$P_{r_{10}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(8,1 \times 10^{44}) = -21,9,$$

$$P_{r_{15}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(1,61 \times 10^{48}) = -23,9,$$

$$P_{r_{20}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(2,6 \times 10^{50}) = -25,2,$$

$$P_{r_{25}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(1,34 \times 10^{52}) = -26,2.$$

Для бензина АИ-92:

$$P_{r_0} = 5,0 - 0,26 \times \ln(1,16 \times 10^3) = 3,16,$$

$$P_{r_5} = 5,0 - 0,26 \times \ln(1,84 \times 10^{16}) = -4,74,$$

$$P_{r_{10}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(1,35 \times 10^{21}) = -7,65,$$

$$P_{r_{15}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(3,05 \times 10^{21}) = -7,86,$$

$$P_{r_{20}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(5,05 \times 10^{26}) = -10,99,$$

$$P_{r_{25}} = 5,0 - 0,26 \times \ln(2,19 \times 10^{28}) = -11,97.$$

Выводы.

В результате расчета можно сделать вывод что при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в результате аварии на ТРК и поступлении ЖМТ в открытое пространство объемом $V = 0,005 \text{ м}^3$, за время срабатывания отсекающего устройства 1 с, вероятность поражения человека, находящегося в здании, отсутствует.

4.2 Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением «огненного шара»

Для оценки воздействия теплового излучения «огненного шара» на человека используется пробит-функция P_r вида

$$P_r = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(t_s \times q^{\frac{4}{3}} \right), \quad (53)$$

где t_s - длительность существования «огненного шара», с;

q - интенсивность теплового излучения «огненного шара», кВт/м².

Для дизельного топлива:

$$P_{r0} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(4,29 \times 86,7^{\frac{4}{3}} \right) = 6,16,$$

$$P_{r20} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(4,29 \times 46,45^{\frac{4}{3}} \right) = 4,03,$$

$$P_{r40} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(4,29 \times 16^{\frac{4}{3}} \right) = 0,39,$$

$$P_{r60} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(4,29 \times 6,37^{\frac{4}{3}} \right) = -2,75,$$

$$P_{r80} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,29 \times 2,98^{\frac{4}{3}}\right) = -5,34,$$

$$P_{r100} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,29 \times 1,63^{\frac{4}{3}}\right) = -7,4.$$

Для бензина АИ-92:

$$P_{r0} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,22 \times 83,6^{\frac{4}{3}}\right) = 6,04,$$

$$P_{r20} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,22 \times 43,35^{\frac{4}{3}}\right) = 3,8,$$

$$P_{r40} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,22 \times 14,6^{\frac{4}{3}}\right) = 0,08,$$

$$P_{r60} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,22 \times 5,7^{\frac{4}{3}}\right) = -3,13,$$

$$P_{r80} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,22 \times 2,65^{\frac{4}{3}}\right) = -5,74,$$

$$P_{r100} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(4,22 \times 1,31^{\frac{4}{3}}\right) = -8,15.$$

График условной вероятности поражения человека тепловым излучением «огненного шара» приведен на рисунке 6.

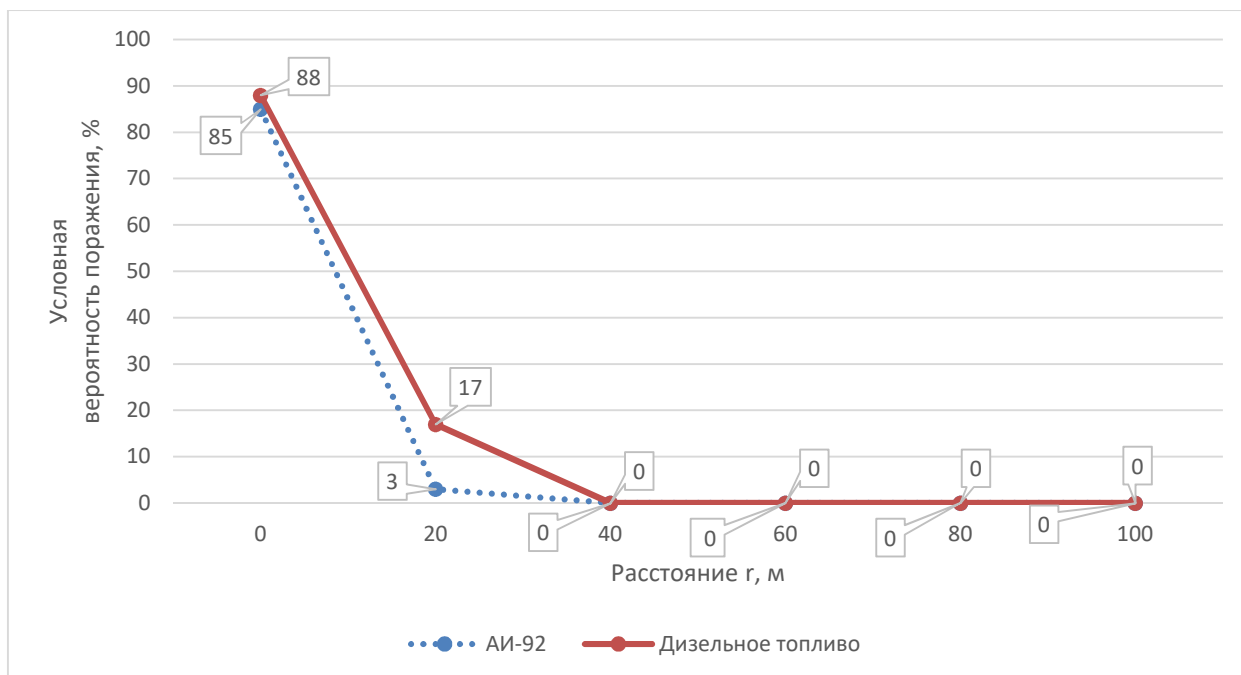


Рисунок 6 - Условная вероятность поражения человека тепловым излучением «огненного шара»

Выводы.

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением «огненного шара» в точке под центром шара равна - 88 % для дизельного топлива и 85 % для бензина АИ-92, на расстоянии 20 метров 17 % для дизельного топлива и 3 % для бензина АИ-92.

Далее с увеличением расстояния условная вероятность поражения человека тепловым излучением «огненного шара» равна 0.

4.3 Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива

Для оценки воздействия теплового излучения пожара пролива на человека используется пробит-функция P_r вида

$$P_r = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(t_s \times q^{\frac{4}{3}} \right), \quad (54)$$

где t_S – эффективное время экспозиции, с;

q - интенсивность теплового излучения пожара пролива, кВт/м².

Эффективное время экспозиции

$$t_S = t_0 + \frac{x}{V_{CP}}, \quad (55)$$

где t_0 - время за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, $t_0 = 5$ с;

x - расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м²);

V_{CP} - средняя скорость движения человека к безопасной зоне, $V_{CP} = 5$ м/с.

$$t_S = 5 + \frac{0}{5} = 5 \text{ с,}$$

Для дизельного топлива:

$$P_{r1} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(6 \times 9,76^{\frac{4}{3}} \right) = -0,437,$$

$$P_{r5} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(5 \times 1,17^{\frac{4}{3}} \right) = -8,144,$$

$$P_{r10} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(5 \times 0,32^{\frac{4}{3}} \right) = -12,569,$$

$$P_{r15} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(5 \times 0,16^{\frac{4}{3}} \right) = -14,935,$$

$$P_{r20} = -12,8 + 2,56 \times \ln \left(5 \times 0,08^{\frac{4}{3}} \right) = -17,301,$$

$$P_{r_{25}} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(5 \times 0,04^{\frac{4}{3}}\right) = -19,667.$$

Для бензина АИ-92:

$$P_{r_1} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(6 \times 14,76^{\frac{4}{3}}\right) = 0,975,$$

$$P_{r_5} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(5 \times 2,21^{\frac{4}{3}}\right) = -5,973,$$

$$P_{r_{10}} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(5 \times 0,596^{\frac{4}{3}}\right) = -10,446,$$

$$P_{r_{15}} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(5 \times 0,297^{\frac{4}{3}}\right) = -12,824,$$

$$P_{r_{20}} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(5 \times 0,18^{\frac{4}{3}}\right) = -14,533,$$

$$P_{r_{25}} = -12,8 + 2,56 \times \ln\left(5 \times 0,118^{\frac{4}{3}}\right) = -15,974.$$

Выводы.

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива, эффективный диаметр которого составляет 0,98 м, принимается равной 100% [2], для сценария в результате аварии на ТРК и поступлении ЖМТ в открытое пространство за время срабатывания отсекающего устройства 1 с, условная вероятность поражения человека за зоной пролива равна 0.

4.4 Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара-вспышки

В соответствии с методикой [2], условная вероятность поражения человека тепловым излучением пожара-вспышки принимается равной 100% в случае попадания человека в зону воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака. Для дизельного топлива она равняется 0,203 м, для бензина АИ-92 - 17,09 м.

За пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автозаправочные станции (АЗС) является сложной многофункциональной системой повышенной опасности, поскольку оказывает услуги по приему, хранению и отпуску нефтепродуктов.

При нарушении организационных правил технологических процессов или несоблюдении иных предусмотренных требований возникают аварийные ситуации – пожары и/или взрывы, в результате которых происходит травмирование, а в некоторых ситуациях смерть, работников и клиентов АЗС.

В данной выпускной квалификационной работе рассматриваются сценарии:

- пожар на территории АЗС;
- взрыв паровоздушного облака;
- попадание технологического оборудования АЗС в очаг пожара с последующим взрывом и образованием «огненного шара».

В качестве фактора инициирующего пожароопасную ситуацию сценария рассматривается разрыв рукава ТРК при заправке АТС и поступление ЖМТ, на территорию АЗС, в данной работе рассматривается дизельное топливо и бензин марки АИ-92, данные топлива относятся к легковоспламеняющимся жидкостям класса опасности – 4, $ПДК_{\text{диз.топ.}} = 300 \text{ мг/м}^3$, $ПДК_{\text{АИ-92}} = 100 \text{ мг/м}^3$.

Длина рукава ТРК, в соответствии с ГОСТ 9018-89 «Колонки топливораздаточные. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2)», равна 4 м, продолжительность срабатывания отключающих устройств 1 с. В соответствии с расчетом, объём ЖМТ поступившего на территорию АЗС равен $0,005 \text{ м}^3$, с массой 4,02 кг дизельного топлива и 3,8 кг бензина АИ-92 площадью пролива $0,75 \text{ м}^2$, эффективным диаметром 0,98 м.

В результате расчета был определен радиус зоны поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси, $R_{\text{ПВС(диз.топ)}} = 0,203 \text{ м}$, $R_{\text{ПВС(АИ-92)}} = 17,09 \text{ м}$.

Прогнозирование зоны поражения при взрыве паровоздушной смеси велось на заданных расстояниях, 0, 5, 10, 15, 20, 25 м. Было определено избыточное давление волны взрыва, максимальное значение которого в геометрическом центре разлива как для дизельного топлива, так и для бензина АИ-92 равно 14×10^4 Па, согласно таблице П4.1 методики [2], при данном избыточном давлении будет наблюдаться полное разрушение зданий, на расстоянии 5 м для бензина АИ-92 при $\Delta P = 4,2 \times 10^4$ Па, наблюдаются 50 % разрушение зданий, а для дизельного топлива при $\Delta P = 0,659 \times 10^4$ Па, будет наблюдаться нижний порог повреждения человека волной давления, далее с увеличением расстояния наблюдается снижение значений до допустимых, не оказывающих влияния.

Прогнозирование зоны поражения тепловым излучением «огненного шара» велось для топливного бака объёмом $0,2 \text{ м}^3$. В ходе расчета были определены параметры «огненного шара» для дизельного топлива, с массой продукта поступившего в окружающее пространство равной 160,836 кг и для бензина АИ-92 - 152 кг.

Для дизельного топлива: интенсивность теплового излучения в точке под центром «огненного шара» составила $86,7 \text{ кВт/м}^2$, эффективный диаметр 28,07 м, длительность существования 4,29 с. Для бензина марки АИ-92: интенсивность теплового излучения в геометрическом центре «огненного шара» составила $83,6 \text{ кВт/м}^2$, эффективный диаметр 27,06 м, длительность существования 4,22 с. В соответствии с значениями, приведенными в таблице П4.5 методических указаний [2], в точке под центром «огненного шара» человек получит ожоги несовместимые с жизнью, на расстоянии 20 метров от точки под центром «огненного шара», человек получит ожог второй степени, далее, с увеличением расстояния, человек может находиться длительное время без негативных последствий для здоровья.

Прогнозирование зоны поражения тепловым излучением пожара пролива при аварии на ТРК, площадью пролива при растекании $F = 0,75 \text{ м}^2$, эффективным диаметром 0,98 м, с массой 4,02 кг дизельного топлива и 3,8 кг

бензина АИ-92, в соответствии с таблицей П 4.4 методики [2], при интенсивности теплового излучения пожара-пролива равной $1,17 \text{ кВт/м}^2$ для дизельного топлива и $2,21 \text{ кВт/м}^2$ для бензина АИ-92, на расстоянии 5 м от геометрического центра пролива, для дизельного топлива: человек может находиться в безопасности в течении длительного времени, а для бензина АИ-92 только в брезентовой одежде.

Так же были рассчитаны условные вероятности поражения человека.

В ходе выполнения расчета условной вероятности поражения человека при взрыве паровоздушной смеси, было определено, что вероятность поражения человека находящегося в здании, равна 0.

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением «огненного шара» в точке под центром шара равна - 88 % для дизельного топлива и 85 % для бензина АИ-92, на расстоянии 20 метров 17 % для дизельного топлива и 3 % для бензина АИ-92. Далее с увеличением расстояния условная вероятность поражения человека тепловым излучением «огненного шара» равна 0.

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива, эффективный диаметр которого составляет 0,98 м, принимается равной 100%, условная вероятность поражения человека за зоной пролива равна 0.

Для пожара-вспышки принимают, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака, равна 100%. За пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0. Размер зоны воздействия для дизельного топлива равен 0,203 м, для бензина АИ-92 - 17,09 м.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АТС – автотранспортное средство;
- АЗС – автозаправочная станция;
- АЦ – автоцистерна;
- ЖМТ – жидко-моторное топливо;
- НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени;
- ТРК – топливно-раздаточная колонка;
- M – молярная масса ЖМТ, кг/кмоль;
- $t_{всп}$ – температура вспышки, °С;
- $Q_{сг}$ – удельная теплота сгорания, кДж/кг;
- ρ – плотность, кг/м³;
- t_p – расчетная температура, °С;
- A, B, C_A – константы уравнения Антуана;
- $C_{НКПР}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об.);
- Pr – пробит-функция;
- E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения, Вт/м²;
- m_u – удельная массовая скорость выгорания ЖМТ, кг/(м² × с);
- V_o – молярный объем пара, м³/кмоль;
- $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;
- $P_o = 101,325 \text{ кПа}$ – атмосферное давление;
- $d_{шл}$ – внутренний диаметр шланга ТРК, м;
- q_H – производительность насоса, л/мин;
- $\tau_{откл}$ – продолжительность срабатывания отсекающих устройств в системе по прямому току ЖМТ;
- t_p – расчетная температура, °С;
- P_S – давление насыщенных паров ЖМТ при расчетной температуре;
- φ_S – концентрация насыщенных паров ЖМТ при расчетной температуре t_p , % (об.);

W – интенсивность испарения ЖМТ, $\text{кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})$;
 $\rho_{\text{П}}$ – плотность паров ЖМТ при расчетной температуре $t_{\text{р}}$, и атмосферном давлении P_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$;
 V – объем ЖМТ, поступившего на территорию АЗС, м^3 ;
 $m_{\text{ЖМТ}}$ – масса ЖМТ, поступившего на территорию АЗС, кг ;
 $m_{\text{Г}}$ – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени, кг ;
 F – площадь пролива при растекании ЖМТ, м^2 ;
 τ – длительность испарения ЖМТ, с ;
 $m_{\text{И}}$ – масса испарившегося ЖМТ, кг ;
 σ – степень расширения продуктов сгорания;
 E – эффективный энергозапас горючей смеси, Дж ;
 $E_{\text{уд0}}$ – удельная теплота сгорания для типичных углеводородов (в расчетах принимают равной $44 \cdot 10^6$ $\text{Дж}/\text{кг}$);
 β – корректировочный параметр, для бензина АИ-92 – $\beta = 1$;
 $u_{\text{р}}$ – расчетная скорость фронта пламени, $\text{м}/\text{с}$;
 u – видимая скорость фронта пламени, $\text{м}/\text{с}$;
 r – расстояние от центра облака паровоздушной смеси, м ;
 $r_{\text{Х}}$ – безразмерное расстояние от центра облака паровоздушной смеси;
 $P_{\text{Х}}$ – безразмерное давление;
 ΔP – избыточное давление, Па ;
 $I_{\text{Х}}$ – безразмерный импульс фазы сжатия;
 Γ^+ – импульс фазы сжатия, $\text{Па} \times \text{с}$;
 $R_{\text{НКПР}}$ – радиус, ограничивающий область концентраций, превышающих НКПР, м ;
 D_{S} – эффективный диаметр «огненного шара», м ;
 H – высота «огненного шара», м ;
 τ – коэффициент пропускания атмосферы;
 F_{q} – угловой коэффициент облученности;

- t_s – длительность существования «огненного шара», с;
- q – интенсивность теплового излучения «огненного шара», кВт/м²;
- d – эффективный диаметр пролива ЖМТ, м;
- $R_{ПВС}$ – радиус зоны поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси, м;
- F_v – фактор облученности для вертикальной площади;
- F_H – фактор облученности для горизонтальной площади;
- F_q – угловой коэффициент облученности;
- t_s – эффективное время экспозиции;
- X – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны;
- $V_{СР}$ – средняя скорость движения человека к безопасной зоне;
- D – доза опасного воздействия, полученная человеком, в зоне поражения;
- $C_{СТ}$ – стехиометрическая концентрация горючего вещества с воздухом, % (об.);
- $C_{Г}$ – концентрация горючего в смеси, % (об.);
- C_0 – скорость звука в воздухе, м/с (в расчетах принимают равной 340 м/с).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 29 июля 2017 года) (редакция, действующая с 31 июля 2018 года) : федер. закон Российской Федерации от 22.07.2008 г. № 123–ФЗ // Российская газета. – 2008. – 22 июл.

2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. - утв. Приказом МЧС России № 404 от 17.08.2009 г. : Пожарная безопасность N 3, 2009 г. – 379 с.

3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (с изменениями на 2 декабря 2015 года) : приказ МЧС России от 08.09.2009 г. № 382 // Российская газета, N 161. – 2009. – 492 с.

4. Инструкция по охране труда для оператора автозаправочной станции. – Введ. 17.05.2004. – Москва : Издательство НЦ ЭНАС, 2004. – 40 с.

5. РД 153-39.2-080-01 Правила технической эксплуатации автозаправочных станций (с Изменениями и дополнениями). – Введ. 01.11.2001. – Москва : Министерство энергетики Российской Федерации, 2001. – 398 с.

6. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации нефтебаз, складов ГСМ, стационарных и передвижных автозаправочных станций. – Введ. 06.05.2002. – Москва : Минтруда Российской Федерации, 2002. – 361 с.

7. НПБ 111–98 «Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности». – Введ. 23.03.1998. – Москва : ГУГПС, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2002. – 140 с.

8. РД 153-39.2-080–01 «Правила технической эксплуатации автозаправочных станций». – Введ. 01.08.2001. – Москва : Министерство энергетики Российской Федерации, 2001. – 169 с.

9. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – Введ. 30.07.2012. – Москва : Минстрой России, 2012. 145 с.

10. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Малкин В. Л. Анализ индивидуального риска пожаров и взрывов для автозаправочной станции с подземным резервуаром // Пожаровзрывобезопасность, № 3, 1999, с. 49–53.

11. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Малкин В. Л. Анализ индивидуального риска пожаров и взрывов для автозаправочной станции с наземным резервуаром // Пожаровзрывобезопасность, № 4, 1998, с. 31–36.

12. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2-х книгах / А. Н. Баратов, Л. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. – Книга 1. – Москва : Химия, 1990. - 496 с.

13. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2-х книгах / А. Н. Баратов, Л. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. – Книга 2. – Москва : Химия, 1990. 384 с.

14. ГОСТ 32513-2013 Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. – Введ. 16.05.2014. – Москва : Стандартинформ, 2014. 267 с.

15. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – Введ. 05.03.2014. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 65 с.

16. Об охране окружающей среды (с изменениями на 29 июля 2018 года) : федер. закон от 10.01.2002 г. №7-ФЗ. - Российская газета, №6, 2002. –48 с.

17. ГОСТ 9018-89 Колонки топливораздаточные. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2). – Введ. 24.03.1989. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1989. – 262 с.

18. СП 156.13130.2014 Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности. – Введ. 05.05.2014. – Москва : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2014. – 100 с.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Т. А. Кулагина

подпись

« 10 »

04

2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

«Прогнозирование зон поражения и риска при эксплуатации
автозаправочных станций»


Руководитель


подпись, дата

канд. техн. наук


Л.Н. Горбунова

Выпускник

 07.19
подпись, дата

А.В. Захаров

Нормоконтролер

 07.2019
подпись, дата

Е.Н. Зайцева

Красноярск 2019

штат

100

5

105