

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт относится к объектам экономики повышенной опасности. Это связано с большой протяженностью коммуникаций и транспортировкой тысяч различных грузов с различными свойствами пожаровзрывоопасности. Пожары на железной дороге отличаются своими особенностями от других видов транспорта и сложностью действий по их ликвидации.

Сложность ликвидации пожаров заключается в том, что часто задерживается введение огнетушащих веществ в очаг пожара до выяснения физико-химических свойств груза и обесточивания электроконтактной сети, проходящей над горящим подвижным составом.

Пожаровзрывоопасность подвижного состава и на железнодорожных станциях характеризуется: наличием больших количеств единиц подвижных составов с разнообразными горючими материалами (сжиженными газами, легковоспламеняющимися жидкостями, твердыми материалами); плотными застройкой складскими помещениями и заполнением подвижными составами; наличием большого числа разных типов параллельно стоящих на путях железнодорожных составов; узкими протяжными разрывами между составами, способствующими быстрому распространению огня площади; развитой сетью железнодорожных путей, которые занимают составы и затрудняют подъезд пожарных автомобилей, а также прокладку рукавов к месту пожара; малой мощностью или слабо развитой сетью противопожарного водоснабжения.

Если аварии принимают серьезные масштабы, то поражающие факторы пожара или взрыва могут привести к массовым жертвам среди производственного персонала и населения, проживающего на прилегающей к станции территории, а также к повреждению (разрушению) зданий и конструкций.

В России за последние несколько лет произошли более 20 аварий на железнодорожном транспорте, сопровождающихся разливом ЛВЖ, пожаром

или взрывом. В результате данных чрезвычайных ситуаций (ЧС) пострадало большое количество людей, как персонала, так и населения, нанесен колоссальный урон окружающей среде, а материальный ущерб достигает десятки миллионов.

В связи с этим разработка мероприятий по определению последствий ЧС, в частности, зон воздействия поражающих факторов аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте, связанных с транспортировкой горючих жидкостей, *актуальна*.

Целью бакалаврской работы является оценка и прогнозирование обстановки в условиях ЧС на железнодорожной станции при транспортировке нефти и нефтепродуктов, а также разработка организационно-технических мероприятий по минимизации воздействия последствий на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели, необходимо было решить следующие задачи:

- изучив типовые аварии, связанные с транспортировкой нефти и нефтепродуктов по железной дороге, сформулировать основные причины их возникновения;
- рассчитать зоны воздействия пожарной и взрывной опасностей и, характеризующих их, опасных факторов;
- разработать рекомендации по снижению воздействия опасных факторов аварий на железнодорожных станциях.

Автореферат на 13 страницах, состоит из введения, трех разделов и заключения. Текст сопровождается 6 таблицами.

Раздел 1 Обзор литературы «Транспортировка нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом»

1.1 Нефть и нефтепродукты. Характеристика

Нефть – это природная маслянистая жидкость, которая имеет специфический запах и представляет собой сложную смесь углеводородов различной молекулярной массы и других химических соединений. Имеет следующие *физические свойства*:

- средняя молекулярная масса – 200-300 г/моль (редко бывает 450-470 г/моль);
- плотность – 0,65-1,05 г/см³ (обычно составляет 0,82-0,95 г/см³);
- температура кристаллизации – от -62 до +35⁰ С;
- температура вспышки – от -35 до +121⁰ С;
- вязкость – 1,98-265,9 мм²/с;
- начало кипения – 20⁰ С ($Q_{ст} = 43514 - 46024$ кДж/кг);
- температура пламени – около 1100⁰ С.

Нефтепродукты – это смеси различных углеводородов (а также индивидуальные химические соединения), которые получают путем переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах.

Выделяют четыре класса нефтепродуктов по степени опасности веществ в зависимости от температуры их вспышки:

- I класс ($t_{всп} < 28$ °С) – бензин;
- II класс ($t_{всп} 28...61$ °С) – керосин, дизельное топливо;
- III класс ($t_{всп} 61...120$ °С) – мазут, дизельное топливо;
- IV класс ($t_{всп} > 120$ °С) – масла, парафин, битумы.

Но более распространенная классификация нефтепродуктов – их разделение по области применения.

Опасность нефти и нефтепродуктов

Жидкие нефтепродукты представляют пожаровзрывоопасность, так как при испарении веществ образуются пары, способные в смеси с кислородом воздуха вспыхивать от источника зажигания.

Кроме пожаровзрывоопасности нефть и нефтепродукты являются источником токсической и экологической опасностей для человека и окружающей природной среды. Симптоматика для людей такая:

- острые отравления организма, которые характеризуются повышением возбудимости центральной нервной системы;
- пары способны оказывать наркотическое воздействие;
- углеводороды негативно действуют на сердечно-сосудистую систему, вызывая падение уровня кровяного давления;
- повреждают органы дыхания;
- приводят к потере обоняния;
- ухудшают зрение.

В зависимости от продолжительности, масштаба и степени загрязнения, разливы нефти могут наносить колоссальный вред окружающей среде: флоре и фауне. На начальных стадиях разлива, продолжительностью от нескольких часов до нескольких дней наблюдается стадия острого стресса, когда живые организмы реагируют быстро и наглядно. Их поведение резко меняется из-за прямой интоксикации. В этот период наблюдается массовая гибель организмов. Следующая стадия называется хроническим стрессом и длится сезоны и годы.

1.2 Транспортирование нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом

Социально-экономическое развитие территорий, особенно крупных городов и мегаполисов, невозможно без транспортной системы, которая бы своевременно обеспечивала большие объемы перевозок. Железнодорожный транспорт и сегодня остается в числе лидеров по объему перевозок пассажиров и грузов.

По данным Росстата за 2019 год доля железнодорожных перевозок составила 45,9 % всего грузооборота страны, а без учета трубопроводного

транспорта эта доля будет 87,2 %. Почти половина объема перевозок железнодорожными составами приходится на грузы нефтяной промышленности (сырая и товарная нефть, нефтепродукты и сжиженные углеводородные газы). Ввиду их токсической, пожарной и экологической опасности транспортировка осуществляется в специальных вагонах-цистернах.

Однако, несмотря на соблюдение требований безопасности при перевозке грузов железнодорожным транспортом, мировая статистика свидетельствует о том, что возможность возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом нефти и нефтепродуктов, последующим их воспламенением и загрязнением территорий и акваторий, все еще существует.

Современные цистерны производят объемом котла 54 – 162 м³, диаметром – до 3,2 м.

По типу ходовой части выделяют 4- и 8-осные цистерны. В большинстве случаев используются бессекционные котлы, состоящие из цилиндрической части и 2-х днищ. В верхней части котлов для нефти и нефтепродуктов монтируется колпак с люком, который предназначен для загрузки товара, а в нижней - сливное устройство для их выгрузки. Предохранительная арматура в основном служит для предотвращения риска разрушения котла при повышении давления в цистерне.

Достоинствами перевозок железнодорожным транспортом являются:

- круглогодичное осуществление перевозок;
- одновременная транспортировка различных грузов в одном составе (маршруте);
- возможность доставлять нефть и нефтепродукты в любую точку страны, имеющую железнодорожное сообщение;
- доставка продукции железной дорогой в 2 раза быстрее, чем речным транспортом.

К недостаткам можно отнести:

- отсутствие нужного подвижного состава;

- большую загрузку существующих железных дорог из-за чего возможны перебои при перевозке других массовых грузов;
- порожний пробег цистерн от потребителя товара к его производителю.

Раздел 2 Расчетная часть

В качестве объекта исследования выбрана железнодорожная станция г. Саратова, находящаяся в черте города, являющаяся местом временной передержки опасных грузов. Место стоянки подвижных составов и пути движения грузовых поездов находятся в 130 м от ближайших жилых зданий.

2.1 Расчет параметров опасных факторов аварийной ситуации

Расчеты проводились по методике руководства Министерства путей сообщения РФ и ГОСТ Р 12.3.047-2012. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры, характеризующие пожар

Параметры и формула	Результат	Параметры и формула	Результат
Средняя скорость истечения ЛВЖ (бензина), м/с $v_{cp} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$	2,3	Продолжительность поступления паров, с $T = \frac{M}{I_p \cdot S_p}$	4578313 (14400)
Расход бензина, кг/мин $G = 60 \cdot v_{cp} \cdot \rho_{ж} \cdot S_0$	1852	Масса испарившейся жидкости, кг $M_p = I_p \cdot T \cdot S_p$	147,7
Масса всего пролитого нефтепродукта (бензина), кг $M = \rho_{ж} \cdot V_{ж} \cdot e$	47 610	Плотность паров при расчетной температуре, кг/м ³ $\rho_n = \frac{M_m}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}$	4,7
Полное время истечения нефтепродукта из цистерны, мин $\tau = \frac{M}{G}$	25,7	Скорость роста площади разлива нефтепродукта (бензина), м ² /мин $S_p(\tau) = (0,00625 \cdot G) \cdot \tau$	11,58 · τ

Площадь разлива нефтепродукта (бензина), м ² $S_p = f \cdot e \cdot V_{ж}$	313,2	Площадь разлива в определенный момент времени от начала аварии: $\tau = 10$ мин $\tau = 15$ мин $\tau = 25,7$ мин	$S_p = 11,58 \cdot 10 = 115,8 \text{ м}^2$ $S_p = 11,58 \cdot 15 = 173,7 \text{ м}^2$ $S_p = 11,58 \cdot 25,7 = 297,6 \text{ м}^2$
Давление насыщенных паров, кПа $P_H = 0,133 \cdot 10^{\left[A - \frac{B}{C_A + t_p}\right]}$	3,13	Радиус зоны загазованности (взрывоопасной зоны) при полной разгерметизации цистерны, м $X_{нкпр} = 3,2 \cdot K^{0,5} \cdot \left[\frac{P_H}{C_{нкпр}}\right]^{0,8} \cdot \left[\frac{M_p}{\rho_n \cdot P_H}\right]^{0,33}$	17,2
Интенсивность испарения нефтепродукта, кг/с·м ² $I_p = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M_m} \cdot P_H$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	Масса паров бензина, поступающая в окружающее пространство в зависимости от времени истечения, кг/мин $M_p(\tau) = (90 \cdot I_p \cdot G) \cdot \tau$	$5,5 \cdot \tau$

2.2 Разлив нефтепродукта (бензина) с последующим возгоранием и взрывом соседней цистерны с бензином

Расчет величины избыточного давления на границе взрывоопасной зоны и плотности теплового излучения огненного шара (таблица 2).

Распространение пожара происходит при $q_{кр} > 12,5$ кВт/м², а на расстоянии 26 м от очага пожара плотность теплового излучения составит 12,5 кВт/м², таким образом, граница опасной зоны (зоны возможного распространения пожара) расположена на расстоянии 26 м от очага пожара.

В интервале 16-24 минут после начала теплового воздействия пожара пролива на цистерну 2 с нефтепродуктом (бензином) произойдет взрыв этой цистерны с образованием огненного шара.

Таблица 2 – Параметры, характеризующие взрыв

Параметры и формула	Результат
Масса огненного шара, т $M_{ош} = 0,6 \cdot M$	28,6
Радиус огненного шара, м	88,7

$R_{\text{ош}} = 29 \cdot M_{\text{ош}}^{\frac{1}{3}}$	
Время существования огненного шара, с $\tau_{\text{ош}} = 4,5 \cdot M_{\text{ош}}^{\frac{1}{3}}$	13,8
Приведенная масса паров бензина при проливе всего количества бензина, кг $M_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0}\right) \cdot M_{\text{п}} \cdot K_z$	144,5
Величина избыточного давления на границе взрывоопасной зоны для $R = 88,7$, кПа $\Delta P = P_a \cdot \left(0,8 \cdot \frac{M_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + 3 \cdot \frac{M_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + 5 \cdot \frac{M_{\text{пр}}}{r^3}\right)$	5,8

Рассчитанные величины избыточного давления на различных расстояниях от геометрического центра облака приведены в таблице 3, согласно этим данным можно определить степень разрушения зданий и уровень поражения человека для каждого класса опасной зоны по таблице 4.

Таблица 3 – Величины избыточного давления

	R_1	R_2	$R_{\text{ош}}$	R_3	R_4
r, м	65	80	88,7	100	150
ΔP, кПа	8,5	6,6	5,8	5,1	3,2

Рассчитаем плотность теплового излучения на различном расстоянии от центра огненного шара по формуле:

$$q = E \cdot \varphi$$

Величина плотности теплового излучения и доза теплового излучения на различных расстояниях от огненного шара, представлены в таблице 5.

Так как при величине теплового излучения более 85 кВт/м² происходит воспламенение через 3-5 с (таблица 8), полагается, что при времени облучения 13,8 с (времени существования огненного шара) воспламенение может

произойти при $q_{кр} = 60 \text{ кВт/м}^2$. Такой величине плотности соответствует расстояние от поверхности огненного шара – 65 м.

Таким образом, зона возможного распространения пожара от воздействия огненного шара (таблица 6), составляет 153,7 м (88,7 м + 65 м) от цистерны с ЛВЖ (места аварии).

Таблица 4– Степени разрушений зданий и сооружений






Класс зоны	ΔP , кПа	Коэффициент, K_1	Степень разрушения зданий и сооружений
1	>100	3,8	Разрушение полное
2	53	5,6	Разрушение сильное, 50% разрушения полного
3	26	9,6	Повреждение среднее, разрушение без обрушения. Резервуары нефтепродуктов могут быть разрушены
4	12	28	Разрушение умеренное, повреждения рам, дверей внутренних перегородок
5	3	56	Повреждения малые, выбито не больше 10% остекления

Таблица 5 – Величина плотности теплового излучения на различном расстоянии от центра огненного шара

Расстояние от огненного шара, r , м	Плотность теплового излучения огненного шара, кВт/м^2	Доза теплового излучения, I
65	60,12	$3,12 \cdot 10^7$
100	48,03	$2,39 \cdot 10^7$
250	14,14	$0,47 \cdot 10^7$
300	10,17	$0,31 \cdot 10^7$

550	3,12	$0,06 \cdot 10^7$
-----	------	-------------------

Таблица 6– Радиусы степени разрушения

Цвет	Радиус, м	ΔP , кПа	Степень разрушения зданий и сооружений
	65	8,5	Полное разрушение
	80	6,6	Сильное разрушение, 50% полного разрушения
	100	5,1	Среднее повреждение, разрушение без обрушения
	150	3,2	Умеренное разрушение, повреждение рам, дверей внутренних перегородок
	>300	1,4	Малые повреждения, разбито не более 10% остекления

Раздел 3 Рекомендации по снижению риска возникновения ЧС на железнодорожном транспорте

Для уменьшения риска возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте, повышения надежности оборудования и обеспечения условий его безопасной эксплуатации разрабатывается комплекс технических и организационных мероприятий, который включает:

- ежегодное обучение персонала установок по предотвращению и локализации аварийных ситуаций в соответствии с разрабатываемым планом;
- поддержание сил и средств по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в постоянной готовности;
- осуществление плановых тренировок пожарных формирований;
- создание финансовых и материальных резервов;

- поддержание постоянного запаса аварийно-технических средств, ежегодная ревизия и их пополнение или замена;
- обеспечение своевременного проведения планово-предупредительных ремонтов, диагностирования оборудования;
- антикоррозийное покрытие внутренней поверхности корпуса железнодорожной цистерны для исключения коррозии металла и увеличения срока службы техники;
- проведение диагностики не реже чем 1 раз в 10 лет для своевременного обнаружения усталостных макро- и микротрещин в сварных швах рамы железнодорожных вагонов;
- проведение капитально-восстановительного ремонта с усилением базовых узлов рамы вагонов;
- усиление базовых узлов основной рамы и сварных швов, модернизация вагонов для повышения прочности конструкции и предотвращения появления усталостных трещин.

По результатам прогнозирования возможной обстановки в результате возникновения ЧС при транспортировке нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом можно с высокой эффективностью спланировать мероприятия по ликвидации, а также обеспечить безопасность функционирования железнодорожной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований, обзора фундаментальных и периодических источников, а так же проведенных расчетов сделаны выводы:

1. На основании анализа литературных данных сформулированы возможные причины чрезвычайных ситуаций, рассмотрен возможный сценарий развития событий.

2. Установлены и рассчитаны параметры, характеризующие пожарную опасность. Найдено, что: площадь разлива нефтепродукта (бензина) и площадь возможного пожара составляет 313,2 м², длина фронта пожара – 33,1 м, а ширина – 9,46 м.

3. Установлены и рассчитаны параметры, характеризующие взрывную опасность. Показано, что, при заданных исходных условиях, поражающие факторы достигают жилой зоны и территории АО «НПП Алмаз». R = 100 м – зона средних повреждений, разрушение без обрушения, R = 150 м – зона умеренных разрушений, повреждение внутренних перегородок, рам, дверей, R > 300 м – зона повреждения около 10% остекления.

4. Представлены мероприятия по повышению безопасности объекта и снижению риска возникновения ЧС на железнодорожных станциях.