МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей и неорганической химии

Прогнозирование и оценка опасностей на газораспределительных станциях

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 441 группы _____

направления 20.03.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Зингера Александра Юрьевича

Научный руководитель.

доцент кафедры, к.х.н. М.В. Пожаров

должность, уч. ст., уч. зв. подпись, дата инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор И.Ю. Горячева

должность, уч. ст., уч. зв. подпись, дата инициалы, фамилия

Саратов 2025

ВВЕДЕНИЕ

Газораспределительные станции (ГРС) – важнейшие узлы инфраструктуры, обеспечивающие транспортировку природного газа от магистральных трубопроводов до потребителей: частных домов, производственных предприятий, коммерческих объектов. Природный газ, как ключевой энергетический ресурс для большинства регионов России, требует отлаженной системы распределения и безопасной эксплуатации. Тем не менее, при всей важности этих объектов для экономики, их эксплуатация связана с рядом серьёзных рисков, способных привести к авариям, пожарам и взрывам, оказывая разрушительное воздействие на население и окружающую среду.

Чрезвычайные ситуации техногенного характера – один из самых опасных и актуальных аспектов в сфере безопасности, особенно в отношении объектов, использующих газ. Вопрос безопасности на ГРС становится особенно острым в условиях износа инфраструктуры. На сегодняшний день более 70% магистральных газопроводов России эксплуатируются более 20 лет, а в некоторых случаях их возраст превышает 30 лет [1]. Это создает предпосылки для возникновения аварийных ситуаций, связанных с утечками газа, коррозией труб, неисправностями оборудования, что повышает вероятность возгораний и взрывов.

Согласно данным Ростехнадзора и МЧС России, ежегодно происходит более 50 техногенных аварий, каждая из которых потенциально угрожает

не только объектам газоснабжения, но и окружающей среде, а также может привести к человеческим жертвам. Газ, обладая высокой воспламеняемостью и взрывоопасностью, при утечке способен вызвать катастрофические последствия. Так, неисправности трубопроводов, дефекты клапанов и другого оборудования могут приводить к масштабным инцидентам, разрушению зданий, а также нанесению экологического ущерба. [2].

Особую актуальность исследование данной темы приобретает в связи с тем, что безопасность ГРС регламентируется рядом строгих нормативных документов, включая Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»[9]. Это закономерно требует проведения тщательного мониторинга и оценки рисков на каждом этапе эксплуатации газового оборудования. Для предотвращения аварий, выявления потенциальных угроз и минимизации последствий необходимы современные подходы к контролю за состоянием оборудования, техническому обслуживанию и обучению персонала, готового к действиям в чрезвычайных ситуациях.

В данном контексте актуальность настоящего исследования очевидна, поскольку повышение уровня безопасности на ГРС не только способствует снижению количества аварий, но и помогает минимизировать их последствия для людей и окружающей среды. Для эффективного предупреждения возможных катастроф критически важно тщательно анализировать причины возникновения техногенных происшествий и разрабатывать комплексные меры по их предотвращению. Это охватывает как технические, так и организационные аспекты, такие как регулярные

проверки оборудования, внедрение передовых технологий, повышение квалификации специалистов и четкая координация действий в экстренных ситуациях. Для результативного анализа рисков на газораспределительных станциях ключевым аспектом становится исследование газопровода, признаваемого самым уязвимым и опасным компонентом. Газопровод, служащий центральным звеном в доставке природного газа, критически важен. Повреждения или сбои в его работе способны спровоцировать наиболее катастрофические происшествия: утечки, взрывы и возгорания. Поскольку газопровод соединяет магистральный трубопровод и потребителей, его техническое состояние нуждается в повышенном внимании и своевременных профилактических мерах. Именно на этой части, где наиболее вероятны дефекты, коррозия и иные проблемы, сосредоточены критические риски, грозящие масштабными аварийными ситуациями. Следовательно, сосредоточение внимания на газопроводе при обеспечении безопасности газораспределительных станций - обязательное мероприятие, направленное на снижение вероятности аварийных ситуаций и увеличение надежности всей системы.

Цель данной работы состоит в детальном анализе опасностей, которым подвержены ГРС, в оценке потенциальных рисков и изучении факторов, способствующих возникновению аварийных ситуаций. Кроме того, в рамках исследования будут предложены рекомендации по улучшению безопасности на подобных объектах, включая усовершенствование существующих методов мониторинга, профилактических мероприятий и подготовку персонала к оперативному реагированию в случае чрезвычайных ситуаций.

Для достижения поставленной цели в работе планируется решить несколько ключевых задач:

Провести анализ действующих нормативно-правовых актов и технической документации, регулирующей эксплуатацию ГРС.

Исследовать основные источники опасности на таких объектах, а также их потенциальные последствия для населения и окружающей среды.

Разработать эффективные методы и регламенты для предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций.

Предложить рекомендации по повышению безопасности на ГРС, включая оптимизацию работы оборудования и повышение квалификации персонала.

1.1 Газопроводы: назначение, классификация, опасности

В данной главе подробно рассматривается комплекс вопросов, связанных с магистральными газопроводами, начиная от их основного назначения и заканчивая современными методами обеспечения безопасности. Магистральные газопроводы представляют собой сложные инженерные системы, предназначенные для транспортировки природного газа от мест добычи к потребителям через сеть технологически связанных объектов, включающих головные сооружения, компрессорные станции, газораспределительные станции и линейную часть. Перед транспортировкой газ проходит многоступенчатую подготовку, включающую сепарацию для удаления воды и конденсата, очистку от агрессивных примесей, осушку и сжижение, что необходимо для обеспечения стабильности транспортировки и предотвращения коррозии трубопроводов. Глава подробно освещает различные классификации газопроводов, которые разделяются по назначению на внутрипромысловые, местные, магистральные и технологические; по

материалу труб - на металлические, неметаллические и футерованные; по температурным режимам - на холодные, нормальные и горячие; по степени агрессивности транспортируемой среды и способам прокладки. Особое внимание уделяется потенциальным опасностям эксплуатации газопроводов, среди которых основными являются взрывоопасность из-за образования смеси метана с воздухом, риски утечек газа, приводящие к отравлениям и удушью, коррозионные процессы, а также механические повреждения, вызванные как человеческим фактором, так и природными явлениями. В главе детально описывается комплекс мероприятий по обеспечению безопасности, включающий строгое соблюдение нормативов на этапах проектирования с учетом геологических и климатических особенностей, применение современных методов контроля качества при строительстве, таких как тщательная проверка сварных швов и использование эффективных антикоррозионных покрытий, а также постоянный мониторинг состояния трубопроводов в процессе эксплуатации с применением передовых диагностических методов, включая вертолетное патрулирование. Отдельный раздел посвящен нормативной базе, регулирующей все аспекты работы газопроводов, где особое внимание уделяется требованиям ГОСТов, СНиПов и руководящих документов, устанавливающих стандарты проектирования, строительства и эксплуатации, а также обязательной аттестации персонала. В заключительной части главы подчеркивается, что безопасность газопроводов достигается только при комплексном подходе, сочетающем современные инженерные решения, качественные материалы, строгое соблюдение нормативных требований и постоянный контроль на всех этапах жизненного цикла газотранспортной системы.

Раздел 2 Расчетная часть

2.1 Объект исследования. Линейное производственное управление магистральных газопроводов

2.2 Состав объекта

Глава посвящена исследованию Петровского линейного производственного управления(магистральных газопроводов (ЛПУМГ) — филиала ООО «Газпром трансгаз Саратов», входящего в структуру ПАО «Газпром». Этот объект относится к 1 классу опасности и расположен в городе Петровск. Основная задача ЛПУМГ — обеспечение бесперебойной транспортировки газа по магистральным газопроводам различного назначения, включая такие ключевые направления, как «Саратов — Горький», «Уренгой — Новопсков» и «Починки — Изобильное». Газопровод «Саратов — Горький», построенный в 1960 году, является одним из старейших и неоднократно реконструировался, включая подводный переход Рудня протяженностью 300 метров. Климатические условия в районе его прохождения характеризуются умеренно континентальным климатом с холодными зимами и теплым летом. Газопровод «Уренгой — Новопсков», введенный в эксплуатацию в 1983 году, предназначен для экспорта газа в страны Центральной и Западной Европы и проходит через регионы с резко континентальным климатом, где зимние температуры опускаются до -40°C. Газопровод «Починки — Изобильное» играет важную роль в транспортировке газа по магистрали «Голубой поток» в Турцию, при этом его участок, проложенный по дну Черного моря, подвержен повышенному износу из-за перехода от умеренного климата к морским условиям.

Петровское ЛПУМГ является ключевым газотранспортным узлом, обслуживающим пять магистральных направлений. В его состав входит линейная часть газопроводов, включающая 138 подземных переходов через автомобильные дороги, 11 — через железнодорожные пути, 17 воздушных переходов через овраги и балки, 26 подводных переходов и 198 пересечений с инженерными сетями. Инфраструктура ЛПУМГ

включает пять компрессорных цехов с газоперекачивающими агрегатами, работающими на электроэнергии, а также пылеуловители различных типов. В аварийных ситуациях для поддержания работы используется резервное газовое топливо. Дополнительно на объекте функционирует установка с сепараторами для производства транспортабельного газа, используемого для заправки автотранспорта ПАО «Газпром». В состав ЛПУМГ также входят три производственные площадки, пять узлов учета газа и 22 газораспределительные станции.

При строительстве подземных газопроводов применяются различные технологии, включая прокладку в траншеях. Проект производства работ (ППР) обязателен для участков в населенных пунктах, но может не разрабатываться для коротких (до 200 м) участков с ровным рельефом и стабильным грунтом. Земляные работы проводятся с учетом требований ГОСТов, включая анализ грунта и защиту от поверхностных вод. После завершения укладки трубопроводы засыпаются.

Особое внимание уделяется пересечению газопроводами водных преград и оврагов. Подводные газопроводы заглубляются в дно, а при необходимости балластируются. Минимальная глубина заглубления зависит от типа водного объекта и может составлять от 0,5 м до 2,0 м. Для подводных переходов используются стальные трубы с увеличенной толщиной стенки или полиэтиленовые трубы с определенным запасом прочности. Надводные участки газопроводов должны располагаться на заданной высоте над уровнем воды, а запорная арматура устанавливается на расстоянии не менее 10 м от границ перехода.

Надземные газопроводы монтируются на опорах из негорючих материалов или по конструкциям зданий. Их прокладка запрещена по стенам и крышам социально значимых объектов, а также вблизи помещений категорий А и Б по пожарной опасности. Газопроводы высокого давления прокладываются по глухим стенам или выше оконных проемов, а низкого и среднего давления могут пересекать остекленные участки производственных зданий. Высота прокладки определяется нормами СНиП.

При пересечении железнодорожных путей, трамвайных линий и автомобильных дорог газопроводы прокладываются в футлярах, обеспечивающих дополнительную защиту. Расстояния до инфраструктурных объектов регламентируются нормативными

документами, но могут быть сокращены по согласованию с ответственными организациями.

В системах газоснабжения используются стальные трубы, изготовленные из низколегированных и малоуглеродистых сталей. Они делятся на сварные (со спиральным или продольным швом) и бесшовные (горячекатаные, холоднокатаные или холоднотянутые). Трубы проходят строгий контроль качества, включая неразрушающие методы испытаний, и маркируются по классу прочности. Для защиты от коррозии подземные стальные трубы покрываются антикоррозионной изоляцией. Альтернативой являются полиэтиленовые и винипластовые трубы, которые также применяются в строительстве газопроводов.

2.3 Потенциальные аварийные ситуации на объекте

Максимальную угрозу для населения представляют участки, где трассы пересекаются с автомобильными и железными дорогами. Самыми вероятными являются аварии, вызванные разгерметизацией, с последующим истечением газа без возгорания – сценарий С3, влекущий за собой загрязнение окружающей среды [24].

На основе возможных аварийных ситуаций можно построить «дерево отказа», представленное на рисунке 3 [24].

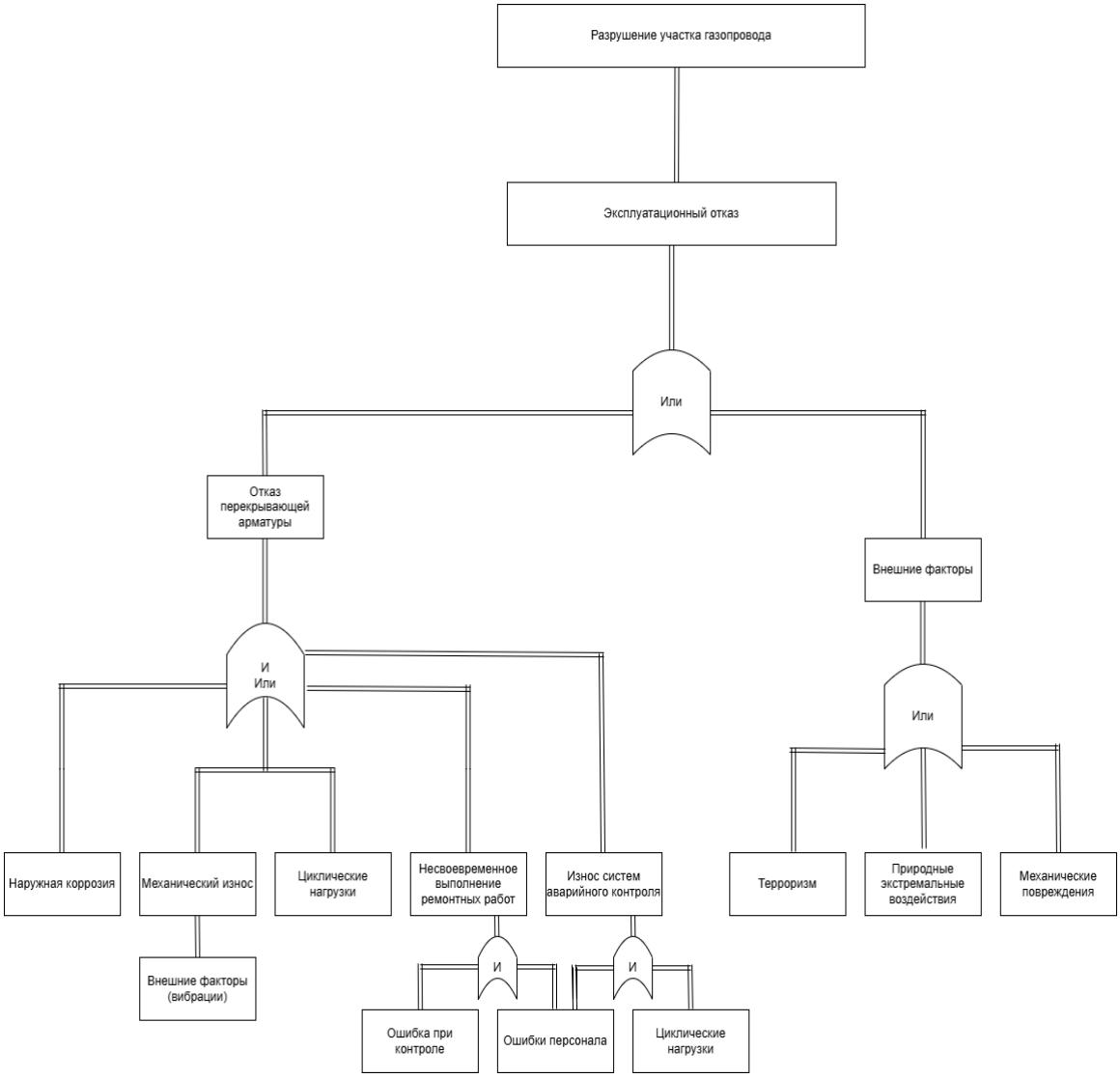

Рисунок 3 - Древо отказа аварийности на газопроводе

2.4 Оценка параметров, характеризующих опасности потенциальной ЧС

2.4.1 Расчет интенсивности истечения газа из однониточного газопровода

Этап I. Расчет объема газа, покидающего аварийный газопровод, с момента возникновения аварии до момента отключения поврежденной секции $t_л$. Давление в точке разрыва газопровода в момент аварии вычисляется по следующей формуле:

$$P_0 = \sqrt{P_H^2 - (P_H^2 - P_K^2) \cdot \frac{L_1}{L}} \ (1);$$

Расход газа G_1(t) (кг/с) для t > 0,1 с на первом аварийном участке протяженностью L_1 рассчитывается по формуле:

$$G_1(t \le t_л) = \frac{M_H}{h_L^2 \cdot \varepsilon} \cdot \exp\left(-\frac{t}{h_L^2 \cdot \varepsilon_L}\right) + \frac{M_г - M_H}{\varepsilon_L} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\varepsilon_L}\right) (2);$$

где $M_Г$ – масса газа, находившаяся в аварийном участке газопровода до аварии, кг, рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{г}} = \frac{L_1 \cdot \pi \cdot d_0^2 \cdot P_1^{\text{ср}}}{4 \cdot R \cdot Z_0^{\text{ср}} \cdot T_1^{\text{ср}}} \pm M_{\text{кс}} \text{ (3), где:}$$

$P_1^{\text{ср}}, T_1^{\text{ср}}$- средние давление и температура для первого аварийного участка газопровода, Па и К, соответственно;

$Z_0^{\text{ср}}$- коэффициент сжимаемости газа до разрыва при параметрах $P_1^{\text{ср}}, T_1^{\text{ср}}$, будет равен 0,5;

R – газовая постоянная, Дж/(кг·К);

M_{KC} – это масса газа в кг, которую необходимо закачать в повреждённый сегмент газопровода $КС_1$ до полной изоляции сегмента. В формуле (3) знак «плюс» используется для расчетов массы газа в первой части газопровода, подвергшейся аварии. В случае расчетов массы газа во второй части, следует использовать знак «минус».

Форма для расчета $М_{КС}$:

$$\text{М}_{\text{кс1}} = G_{\text{кс}} \cdot t_l \text{ (4), где:}$$

где: G_{KC} – производительность газопровода (г/с) в нормальном режиме его эксплуатации.

$t_l -$ время закрытия крана (по паспортным данным принимается расчетное время отключения 90 с для кранов с электрогидравлическим приводом DVG).

$M_H -$ масса газа, истекающего в адиабатическом режиме. Величина M_H(кг) рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{Н}} = \frac{2 \cdot M_{\text{г}} \cdot d_0}{\lambda \cdot L_1 \cdot \sqrt{k}} \cdot \left(\left(\frac{1}{k} \cdot \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} + \frac{\lambda \cdot L_1}{d_0}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{1}{k} \cdot \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}\right)^{\frac{1}{2}}\right) \text{(5);}$$

$$\text{h}_{\text{L}} = \frac{2 \cdot \text{M}_{\text{г}}}{\varepsilon_{\text{L}} \cdot \text{G}_0} \text{ (6), где:}$$

ε_L −постоянная времени, с, определяется по соотношению:

$$\varepsilon_{\mathrm{L}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\mathrm{L_1}}{\mathrm{a_0}} \cdot \sqrt{\frac{\mathrm{k} \cdot \lambda \cdot \mathrm{L_1}}{\mathrm{d_0}}}\ (7), \text{где:}$$

a_0 – скорость звука в газе до разрыва, м/с, задается выражением

$$\mathrm{a_0} = \sqrt{\mathrm{k} \cdot \mathrm{R} \cdot \mathrm{Z_0^{cp}} \cdot \mathrm{T_0^{cp}}}\ (8), \text{где:}$$

G_0 − начальный критический массовый расход газа, г/с, рассчитывается по формуле;

$$G_0 = \frac{P_0 \cdot \pi \cdot d_0^2 \cdot \sqrt{k}}{4 \cdot \sqrt{R \cdot Z_k \cdot T_0^{\mathrm{cp}}}} \cdot (\frac{2}{k+1})^{\frac{k+1}{2 \cdot (k-1)}}\ (9), \text{где:}$$

Z_k −коэффициент сжимаемости газа в критическом сечении (принимается равным 1)

$$M_{11} = M_{\text{н}} \cdot \left(1 - exp\left(-\frac{t_{\text{л}}}{h_L^2 \cdot \varepsilon_L}\right)\right) + (M_{\text{г}} - M_H) \cdot \left(1 - exp\left(-\frac{t_{\text{л}}}{\varepsilon_L}\right)\right)\ (10), \text{где:}$$

Этап II. Расчет массового расхода газа из аварийного газопровода после локализации аварии 2 аварийной секции протяженностью L_2

Масса газа из первой аварийной секции M_{12} на втором этапе истечения, определяется по формуле:

$$\mathrm{M_{12}} = \varepsilon_x \cdot G_1(t_{\text{л}})\ (11), \text{где:}$$

Расход газа $G_1(t)$ (кг/с) для аварийной секции после закрытия крана на линейной части ($t > t_{\text{Л}}$) задается формулой:

$$G_2(t > t_{\text{л}}) = G_1(t_{\text{л}}) \cdot \exp\left(-\frac{t - t_{\text{л}}}{\varepsilon_x}\right)\ (12)$$

ε_x-постоянная времени, с, определяется по формуле:

$$\varepsilon_x = \frac{2}{3} \cdot \frac{x_1}{a_x} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot \lambda \cdot x_1}{d_0}} (13)$$

a_x −скорость звука в газе в отсеченной секции на момент времени t_{12}, м/с, задается формулой:

$$a_x = \sqrt{k \cdot R \cdot Z_0^{\text{ср}} \cdot T_x^{\text{ср}}} (14)$$

Полная масса газа, выброшенная из первого аварийного участка, рассчитывается как сумма масс M_{11} и M_{12} по формуле:

$$M_1 = M_{11} + M_{12} (15)$$

В конечном итоге после разгерметизации однониточного газопровода будет выброшено количество газа, равное 47,6 тонн.

2.4.2 Расчет степени поражения ударной волной персонала

Степень травмирования персонала ударной волной напрямую зависит от значения избыточного давления в ней. В случае, когда на человека оказывается воздействие избыточного давления в диапазоне от 5 до 120 кПа, наблюдаются различные степени поражения

- <5 кПа (отсутствие поражения);

- 5–70 кПа (поражения легкой степени – ушибы, проблемы со слухом, средней степени – кровотечения, вывихи, сотрясения мозга);

- 70–120 кПа (тяжелые поражения, контузии);

- > 120 кПа (летальный исход).

Для расчета безопасной удаленности от центра взрыва, учитывая избыточное давление ударной волны, для оценки степени поражения

персонала выполним расчеты для расстояний 80, 85, 90, 100, 150, 250, 500 и 700 метров.

Рассчитываем избыточное давление ударной волны ΔP_{ϕ}, кПа по формуле [35]:

$$DP\text{ф} = P_0 \cdot \left(\frac{0{,}8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{R} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{R^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{R^3} \right) \quad (19),$$

Сведения об избыточном давлении ударной волны на различном расстоянии от места аварии приведены в Таблице 4.

Таблица 4 – Значение избыточного давления ударной волны $\Delta P_{\text{ф}}$ (кПа) на расстоянии от места аварии R (м)

Расстояние от места аварии R, м	Избыточное давление $\Delta P_{\text{ф}}$, кПа
80	140
85	123
90	110
100	89,3
150	42,4
250	18,7
500	7,32
700	4,86

Сопоставляя информацию, представленную в таблице 4, с литературными данными о воздействии ударной волны]37], можно отметить следующее:

При воздействии избыточного давления в диапазоне 20–40 кПа незащищенные лица подвержены риску легких травм (например, ушибов и

контузий). Ударная волна с избыточным давлением 40–60 кПа вызывает поражения средней степени тяжести, характеризующиеся потерей сознания, повреждениями слуховых органов, серьезными вывихами конечностей, а также кровотечениями из носа и ушей. Воздействие давления свыше 60 кПа ведет к тяжелым поражениям.

2.4.3 Расчет интенсивности теплового излучения огненного шара и оценка вероятности смертельного поражения человека в зависимости от полученной дозы облучения

При аварийном выбросе газа формируется газовоздушная смесь, образующая газовое облако. Если присутствует источник воспламенения, то происходит взрыв газопаровоздушного облака, принимающего форму огненного шара.

Мощность, выделившаяся при сгорании огненного шара $P_{ош}$, Вт определяется по формуле [35]:

$$P_{ош} = \frac{Q_г \cdot m_г}{\tau_с} \ (20), \text{где:}$$

$Q_г$ – теплота горения метана, $50 \cdot 10^9$Дж

$m_г$-масса метана, выделившаяся в окружающую среду 13 390 кг

$\tau_с$-время существования огненного шара, с

$$\tau_с = 3{,}8 \cdot \sqrt[3]{m_г} = 3{,}8 \cdot \sqrt[3]{47{,}56} = 13{,}77 \text{ с } (21).$$

Отсюда:

$$P_{ош} = \frac{50 \cdot 10^9 \cdot m_г}{3{,}8 \cdot m^{1/3}} = 13{,}16 \cdot 10^9 \cdot m^{2/3} = 172{,}75 \cdot 10^9 \text{Вт}$$

Тепловую излучательную мощность огненного шара $P_{ош}$, Вт находим по формуле:

$$P_{и} = P_{ош} \cdot 0{,}15 = 25{,}9 \cdot 10^{9}\text{Вт} \ (22);\text{где:}$$

0,15 – доля энергии теплового излучения в общем энерговыделении.

Интенсивность энергии, Вт/м^2 облучаемой поверхности находим по формуле:

$$J_r = \frac{P_{и}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = 8{,}8 \cdot 10^{10} \cdot \frac{r^{-2}\text{Вт}}{\text{м}^2} \ (23);$$

Выполним расчет на следующих расстояниях от центра взрыва – 80, 85, 90, 100, 150, 250, 500, 700 м (таблица 4).

Фактор ослабления:

$$\lambda = 0{,}96 - 0{,}12 \lg r$$

Интенсивность после ослабления:

$$J_r^{/} = \lambda \cdot J_r, \text{ Дж/м}^2$$

Смертельное поражение человека определяется индексом дозы облучения по формуле:

$$\text{Индекс дозы} = (J_r^{/})^{1{,}33} \cdot \tau_{с}, \text{ Дж/м}^2 \ (24);$$

Ожог третьей степени человека определяется индексом дозы облучения по формуле:

$$\text{Индекс дозы} = (J_r^{/})^{1{,}15} \cdot \tau_{с}, \text{ Дж/м}^2 \ (25).$$

Определим индекс дозы по выражению при минимальном расстоянии r=80 м

$$\text{Индекс дозы} = (14 \cdot 10^{6})^{1{,}33} \cdot 90 = 2{,}8 \cdot 10^{11}\text{Дж/м}^2$$

Ожог третьей степени человека определяется индексом дозы облучения по выражению при минимальном расстоянии r= 80 м:

$$\text{Индекс дозы} = 5{,}5 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$$

Зависимость дозы теплового излучения от расстояния до огненного шара приведены в Таблице 5.

Таблица 5 – Зависимость дозы теплового облучения от расстояния r для огненного шара массой 13 390 кг

$J_r = f(r)$	r, м							
	80	85	90	100	150	250	500	700
$J_r \cdot 10^6$, Вт/м^2	0,32	0,28	0,25	0,21	0,91	3,30	8,24	4,12
$(J_r^{/})^{1,33} \cdot 10^7$, Дж/м^2	4,4	3,86	3,44	2,89	-	-	-	-
$(J_r^{/})^{1,15} \cdot 10^{10}$, Дж/м^2	-	-	22,2	18,2	6,95	2,16	0,44	-

Сопоставив полученные значения индексов зон облучения в таблице 5 можно сделать следующие выводы:

Смертельное поражение человека наступает при значении индекса дозы больше $2{,}8 \cdot 10^{11}$Дж/м^2, исходя из таблицы это наступает на расстоянии 80-90 м.

Ожог третьей степени человека определяется индексом дозы облучения по при значении индекса дозы больше $5{,}5 \cdot 10^5$ Дж/м^2, исходя из таблицы это наступает на расстоянии 85-90 м.

Раздел 3 Оценка ущерба от аварии

Структура эколого-экономического ущерба, возникающего вследствие аварий на опасных производственных объектах, обычно состоит из следующих компонентов: прямые финансовые убытки организации, эксплуатирующей объект, на котором произошла авария; затраты на устранение последствий аварии; социально-экономические потери, включающие травматизм и гибель людей (как сотрудников предприятия, так и сторонних лиц); вред, причиненный окружающей среде; косвенные убытки и потери государства, обусловленные снижением численности трудоспособного населения.

В соответствии с [36] общий размер ущерба от аварий на опасных производственных объектах может быть представлен в виде следующей формулы:

$П_а = П_{п.п} + П_{л.а} + П_{с.э} + П_{к.в} + П_{экол} + П_{в.т.р}$, где:

$П_{п.п}$ – прямые убытки, которые несет организация, управляющая опасным производственным объектом, руб.;

$П_{л.а}$ – расходы, связанные с локализацией (ликвидацией) аварийной ситуации и проведением расследования, руб.;

$П_{с.э}$ – социально-экономические потери (расходы, возникшие в результате гибели людей и получения ими травм), руб.;

$П_{к.в}$ – косвенный ущерб, руб.;

$П_{экол}$ – экологический ущерб (ущерб, нанесенный компонентам окружающей среды), руб.;

$П_{в.т.р}$ – убытки, возникающие в результате выбытия трудовых ресурсов из-за гибели людей, руб.

Таблица 5 – Сводные данные расчета ущерба

Вид ущерба	Величина ущерба, руб.
прямые потери организации	1 225 585
затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии	310 000
социально-экономические потери	391 594
косвенный ущерб	1 102 860
экологический ущерб	24 390
потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности	72 000
Итог	3 126 429

Раздел 4 Организационно-технические мероприятия по минимизации аварийности на газопроводе.

Глава посвящена организации ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах предприятия, которая осуществляется силами подразделений компании и привлеченных организаций. Взаимодействие между участниками аварийно-спасательных работ регламентируется планами ликвидации аварий (ПЛА), разработанными в структурных подразделениях управления. Основные мероприятия по локализации и ликвидации аварий начинаются с фиксации происшествия и оповещения начальника смены, который собирает первичную информацию о случившемся. Затем проводится оценка масштабов аварии и принимается решение о привлечении необходимых сил и средств. Важным этапом является локализация места аварии для предотвращения ее распространения и ограничения доступа посторонних лиц, после чего начинаются работы по ликвидации последствий. Для проведения аварийно-спасательных и восстановительных работ могут привлекаться ресурсы специализированных организаций, формирования гражданской обороны, а также любые специалисты из штатного состава предприятия, доступный транспорт, грузоподъемные механизмы и технические средства. При возникновении аварийной ситуации диспетчерская служба обязана установить ее причину и характер, локализовать и ликвидировать последствия, включая корректировку режима работы объекта. В случае аварии на газопроводе предусматривается его консервация или отсечение поврежденного участка запорно-регулирующей арматурой. Для обеспечения высокой готовности нештатных аварийно-спасательных формирований (НАСФ) к выполнению задач проводится комплекс

мероприятий: поддержание формирований в постоянной готовности к выезду, укомплектование личным составом, своевременное обеспечение техникой и оборудованием в соответствии с табелем оснащения, регулярное обучение и тренировки персонала, обеспечение средствами индивидуальной защиты в любое время суток, оперативная выдача технологической документации для ремонтных работ, обеспечение автономными источниками освещения и связи, отработка системы экстренного оповещения и сбора личного состава, создание запасов материально-технических ресурсов вне зон возможного разрушения, организация питания и медицинской помощи в зоне аварии, содержание теплых стоянок для техники, поддержание в исправном состоянии подъездных путей к складам, отработка действий по аварийным расписаниям и схемы взаимодействия с привлекаемыми силами. В случае катастрофической разгерметизации коммуникаций предусмотрен четкий порядок действий: первый обнаруживший аварию сообщает старшему оператору, который оценивает обстановку и масштаб повреждений, организует оцепление опасной зоны, обеспечивает эвакуацию персонала, не участвующего в ликвидации, при необходимости организует спасение людей и оказание первой помощи, встречает пожарных и информирует их об обстановке, перекрывает подачу топливного газа и отсекает аварийный участок трубопровода, докладывает руководству о выполненных действиях. При возникновении возгорания до прибытия пожарных проводится тушение имеющимися средствами, при отказе автоматических систем осуществляется их ручной или дистанционный запуск, а после прибытия пожарных тушение полностью переходит в ведение специализированной организации.

Заключение

На основе проведенного исследования, изучения теоретических и практических материалов, а также расчетов, сформированы следующие выводы:

Изучение доступной литературы позволило выделить ключевые факторы, способствующие возникновению чрезвычайных ситуаций на объектах, связанных с хранением и транспортировкой сжиженного природного газа (СПГ). Определены вероятные сценарии аварий и их последствия для производственных мощностей.

Установлены и рассчитаны показатели, отражающие взрывоопасность. При утечке 14 тонн СПГ и образовании ударной волны на удалении 80 метров от эпицентра ЧС, наблюдается значительное разрушение зданий, вплоть до обрушения стен и первых этажей.

Выполнен расчет показателей пожарной опасности. Результаты исследования показывают, что в радиусе 80-90 метров от источника возгорания, тепловое излучение приводит к летальному исходу и ожогам III степени. Интенсивность теплового излучения на данном расстоянии достигает 2,3 Дж/м². На дистанциях 500-700 метров интенсивность излучения снижается до уровня ниже минимально допустимого значения, что делает его воздействие на объекты незначительным (исключая ожоги первой степени).

Проведена оценка ущерба, нанесенного воздействием взрывных и пожарных факторов окружающей среде. Определено, что ориентировочный ущерб для предприятия составит 3 126 429 рублей, включая затраты на ликвидацию последствий аварии.

Сформулированы основные организационные и технические меры для повышения безопасности на объектах:

Быстрое реагирование персонала и создание условий для оперативной локализации аварий;

Регулярное обучение сотрудников с целью минимизации ошибок при управлении аварийными ситуациями;

Внедрение технологического контроля за состоянием трубопроводной системы для предотвращения утечек и возникновения чрезвычайных ситуаций.