

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Управление безопасностью компрессорной станции ПХГ
с применением методов прогнозирования**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки _____ 4 _____ курса _____ 441 группы _____
направления _____ 20.03.01 «Техносферная безопасность» _____
код и наименование направления, специальности
_____ **Института химии** _____

Сазоновой Татьяны Олеговны

Научный руководитель

доцент, к.х.н.
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

В.З. Угланова
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина
инициалы, фамилия

Саратов 2024

ВВЕДЕНИЕ

Нефте- и газодобывающая промышленности – одна из важнейших и наиболее развитых отраслей тяжелой перерабатывающей индустрии. Производства имеют достаточно длинный и сложный цикл, начиная от разведки месторождения, добычи, переработки компонентов нефти и газа, заканчивая изготовлением готовой продукции. В России в системе газотранспорта участвуют магистральные газопроводы протяженностью около 160 тыс. км² и 250 компрессорных станций, которые устанавливаются для поддержания заданного расхода транспортируемого газа и обеспечения оптимального давления в трубе [1].

Необходимость постоянного снабжения потребителей (производственной и городской среды) топливом предъявляет особые требования к стабильности функционирования системы газоснабжения. Оптимальным способом обеспечения требуемой стабильности транспортной системы газа является хранение больших объёмов газа в районах его потребления [2, 3].

Среди основных задач, стоящих перед контролирующими органами, является обеспечение состояния защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий и последствий на опасных производственных объектах. В целях исполнения задач ведется идентификация опасностей; их учет, расследование причин; проведение профилактических мероприятий. Однако полностью исключить вероятность возникновения аварий невозможно.

Таким образом, работы, основанные на применении современных методов дедукции и индукции, моделирования, системных методов и другие, включающие специальные научно-технические исследования возникновения, развития и последствий возможных аварий по оценке риска на опасных объектах являются *актуальными*.

В связи с этим целью бакалаврской работы является *моделирование аварийной ситуации, мероприятий по предупреждению её возникновения и минимизации воздействия негативных последствий* на компрессорной станции

УПХГ.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- *идентификация опасностей* (пожарной, взрывной), их источников, условий реализации, последствий;
- *выбор и обоснование основных сценариев аварии*: определение и расчет параметров, характеризующих поражающие факторы опасностей потенциальной аварии на исследуемом объекте, анализ последствий (расчет интенсивности и объемов аварийных выбросов опасных веществ, моделирование распространения поражающих факторов);
- *оценка экономического ущерба*;
- *рассмотрение основного комплекса мероприятий по предупреждению возникновения потенциальной аварии и минимизации воздействия* возможных негативных последствий.

Раздел 1 Обзор литературы. Подземное хранилище газа

1.1 Природный газ. Состав. Свойства

Природный газ – это полезное ископаемое в газообразном состоянии. Он является основным сырьем закачки и хранения подземного хранилища газа. В природных газах газовых месторождений страны основным компонентом смеси является метан CH_4 (от 92 до 98% по объему) [4]. Остальные 28 % приходится на «производные» метана – гомологи метана и азота. К соединениям, ухудшающим его физико-химические свойства относят: H_2S , S_2 , O_2 , CO_2 , H_2O .

По своим физическим свойствам природный газ бесцветен и не имеет запаха. Природный газ горюч и взрывопожароопасен. Для определения по запаху газ одорифицируется. Для этих целей используются химические соединения с резким запахом, чаще всего, меркаптаны – этилмеркаптан. По токсикологической характеристике природный газ относится к веществам 4-го класса опасности и к группе веществ, образующих с воздухом взрывоопасные

смеси.

1.2 Способы хранения природного газа

ПХГ в истощенных месторождениях являются наилучшим местом для хранения газа. Этот природный резервуар уже полностью разведан, на объекте уже имеются готовые скважины и оборудование, при помощи которого месторождение эксплуатировалось [5]. Для создания ПХГ может использоваться соляная каверна, которая имеет очень надежную крышку, поскольку соляной купол обеспечивает абсолютную герметичность резервуара, т.к. непроницаем для газа.

В водоносных структурах основным требованием, которым должен обладать пористый водоносный горизонт – это непроницаемая крышка, которая бы надежно удерживала газ под землей. Газ закачивается, вытесняя воду. Разработаны технологии создания ПХГ в угольных шахтах или каменных пещерах, которые используются в Норвегии, США, Швеции, Чехии.

1.3 Опасности ПХГ. Причины аварийных ситуаций

Подземное хранение газа относят к первому классу опасности как пожаро- и взрывоопасный производственный объект. Особенности данных объектов является постоянное существование на них пожарной и взрывной опасностей, поражающие факторы которых способны воздействовать на большие территории и большие массы людей [5-6]. Максимальную опасность представляют взрывы внутри самих хранилищ с последующим выбросом в атмосферу взрывоопасных и токсичных продуктов.

Основными поражающими факторами ЧС на ПХГ являются тепловое и световое излучение, открытое пламя, ударная волна и осколки разрушенного оборудования, интоксикация персонала и экосистемы в целом продуктами горения [7]. При возникновении аварийной ситуации персонал обязан с учетом складывающейся обстановки принимать быстрые и эффективные меры по предотвращению угрозы жизни и здоровью людей. Все действия необходимо осуществлять в соответствии с планами мероприятий по локализации и

ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте.

1.4 Статистика аварийности на объектах газовой промышленности

Ежегодные отчеты Ростехнадзора предоставляют сведения о количестве аварий и их причинах за год [8]. Количество аварий в результате износа оборудования возрастает, что связано с увеличением срока эксплуатации газопроводов, а общее количество аварий на линейной части магистрального газопровода снижается, в связи с увеличением объемов капитального ремонта, проверок газопроводов на дефекты, повышением степени защиты от коррозии и т.д.

1.5 Мероприятия по повышению устойчивости функционирования подземного хранилища газа

Основные мероприятия по повышению устойчивости функционирования объектов газоснабжения включают: установку клапанов-отсекателей на скважинах, подготовку газа, хранение в подземных емкостях, увеличение объема хранилищ, использование автономных передвижных газотурбинных электростанций, работающих на природном газе [7-9]. Предусмотрены специальные мероприятия по повышению устойчивости предприятий: перераспределение ресурсов газа по направлениям, объемам и потребителям, создание перемычек и кольцевание магистральных газопроводов, разработка и применение системы противокоррозийной защиты, создание аварийного запаса труб и запорной арматуры, контроль за герметичностью технологических систем, создание автоматических систем обнаружения утечек.

Раздел 2 Расчетная часть

2.1 Объект исследования. Характеристика опасного производственного объекта

Управление подземного хранения газа (УПХГ) обеспечивает закачку, хранение и отбор газа в пористых пластах бывшего Е-К газонефтяного месторождения с целью регулирования сезонной неравномерности газопотребления города.

2.2 Технологический режим работы ПХГ

Технологический процесс эксплуатации подземного хранилища разделяется на два процесса – *закачку и отбор газа*. В ПХГ ежедневно проводятся замеры суммарных объемов закачиваемого и отбираемого газа. Если объектов хранения два и более, то замеры должны осуществляться для каждого объекта.

Сложность эксплуатации во время отбора газа обуславливается воздействием внешних и внутренних факторов: неоднородность литологического строения и физических свойств пласта-коллектора, от которых во многом зависят характер замещения газа водой, неравномерность отбора газа по площади, наличие в продукции скважин пластовой воды и частиц породы, возникновение гидратов в газопроводах и местах сопротивления (узел редуцирования, запорная арматура) и др.

2.3 Компрессорная станция, общая информация

На территории промышленной площадки филиала расположена одна компрессорная станция со стандартным набором оборудования.

2.4 Особенности ЧС на компрессорной станции

Факторы, способствующие возникновению и развитию аварий: наличие больших количеств пожаро- и взрывоопасных веществ (природный газ, масла, бензин, дизельное топливо), возможность образования горючей взрывоопасной среды при утечках, разгерметизации технологических участков, большое количество запорной и регулирующей арматуры.

Возможные причины аварий: дефекты оборудования, коррозия и эрозия, физический износ, нарушение правил эксплуатации, брак строительно-монтажных работ, внешние воздействия природного характера, преднамеренные действия.

2.4.1 Сценарии наиболее вероятных и наиболее опасных аварий

Наиболее опасной аварией связана со струевым горением газа при разрушении технологической обвязки ГПА 1 цеха. Наиболее вероятной аварией

- струевое горение газа в случае разрушения ГПА 2 цеха. За пределами объекта возможно и повреждение компонентов природной среды, гибель и получение людьми ожогов различной степени.

2.5 Взрывная и пожарная опасности. Расчет параметров, характеризующих их поражающие факторы

Оценку параметров поражающих факторов пожарной опасности проводили с использованием программного комплекса, а взрывной – используя формулы методики [12].

2.5.1 Расчет параметров пожарной опасности

Целью данного подраздела является определение величин пожарного риска для объекта защиты, сравнение их с нормативными значениями для дальнейшей разработки дополнительных противопожарных мероприятий.

Для проведения расчетов и оценки рисков потенциальной аварии на исследуемом объекте были выбраны исходные данные с учетом реальной ситуации и характеристик объекта.

2.5.1.1 Определение инициирующих пожароопасные ситуации событий и построение сценариев возникновения и развития пожаров

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций на рассматриваемом объекте был использован метод логических деревьев событий [10-13]. Расчеты проводились для всех трубопроводов и ГПА на территории компрессорной станции, для примера в работе представлены расчеты для одного ГПА.

Установлено, что в зависимости от размера разгерметизации (щели), диаметра трубопровода и частота возникновения инициирующего события и вероятности будут меняться. Наблюдается заметное уменьшение вероятности образования вертикального факела с увеличением диаметра разгерметизации оборудования, но его полное разрешение будет возрастать.

2.5.1.2 Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения

пожароопасных ситуаций

При разгерметизации технологической линии на площадочных сооружениях проводят расчет параметров, характеризующих интенсивность истечения газа на площадочных сооружениях компрессорной станции.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественная оценка

Название параметра	Расчетная формула	Результаты
Массовая скорость истечения сжатого газа (при $\frac{P_a}{P_V} < \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\gamma/(\gamma-1)}$ - сверхкритическое истечение), кг/с	$G = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \mu \cdot \left[P_V \cdot \rho_V \cdot \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2}$	0,2756
Масса газа, вышедшего за время отключения, кг	$m_{\Gamma} = G \cdot 120 + m_{\Gamma,т.}$	2432,1

2.5.1.3 Построение полей опасных факторов пожара

Расчет теплового потока для точки, расположенной на определенном расстоянии X от места разгерметизации приведен в таблице 2. Аналогично были получены величины плотности теплового потока на различных расстояниях от места разгерметизации.

Таблица 2 – Расчет теплового потока

Название параметра	Расчетная формула	Результат для точки 6,2 м
Длина факела, м	$L_F = K \cdot G^{0,4}$	15,5
Диаметр факела, м	$D_F = 0,15 \cdot L_F$	2,3
<p>Угол θ принимается равным 0, $\cos\theta = 1$, $\sin\theta = 0$.</p> $a = \frac{2L}{d}; \quad b = \frac{2X}{d};$ $A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \cdot \sin\theta}$ $B = \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \cdot \sin\theta}$ $C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta};$		$a = 13,33$ $b = 5,32$ $A = 14,76$ $B = 14,02$ $C = 5,32$
Фактор облученности для вертикальной площадки	$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctan D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctan \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot \left[\arctan \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) + \arctan \left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\}$	0,093

Фактор облученности для горизонтальной площадки	$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctan\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) + \arctan\left(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}\right) \right] - \frac{[a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin\theta)]}{A \cdot B} \cdot \arctan\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\}$	0,054
Угловой коэффициент облученности	$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}$	0,107
Коэффициент пропускания атмосферы	$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d))$	0,996
Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²	$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau$	21,37

2.5.1.4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей

Иницирующее событие: Разрушение, разгерметизация (5 мм, 12,5 мм, 25 мм, 50 мм). Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение 4 кВт/м².

Расчет условной вероятности поражения человека для точки на расстоянии r' представлен в таблице 3, из которой видно, что условная вероятность поражения человека тепловым излучением при возникновении вертикального факела минимальна. Аналогично были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым потоком на различных расстояниях от места разгерметизации.

Таблица 3 – Расчет опасных факторов пожара

Название параметра	Расчетная формула	Результат расчета	
		Горизонтальный	Вертикальный
Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение (4 кВт/м ²), м	$x = r_4 - r'$	2,2	8,6
Величина эффективного времени экспозиции, с	$t = t_0 + \frac{x}{u}$	5,4	6,7
Значение пробит-функции	$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$	-0,601	1,894

2.5.1.5. Расчет величины пожарного риска для объекта защиты

Потенциальный риск от оборудования объекта

Величина потенциального пожарного риска в определенной точке как на территории объекта, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j,$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

Q_j – частота реализации в течение года i -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются по критериям поражения людей опасными факторами пожара, взрыва.

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются по критериям поражения людей опасными факторами пожара, взрыва.

Таким образом для рабочих газокompрессорной службы наибольшую опасность представляют ГПА в радиусе 20 метров от каждого. Это связано с большим перепадом давления в данном оборудовании и разнице диаметров входящего и отводящего газопроводов.

Результаты расчетов приведены в таблице 4, что подтверждает наибольшую вероятность поражения персонала при работе на территории КС-2 и КС-4, Итоговый индивидуальный риск на территории всей компрессорной станции составляет $9,785 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹.

Таблица 4 – Расчет пожарного риска

Здание, область территории объекта	q_{im}	$P(i)$ (мин. ... макс.), год ⁻¹	$R_m(i)$, год ⁻¹
Газокompрессорная служба			
КС-2	0,11279	0 ... $7,265 \cdot 10^{-5}$	$4,938 \cdot 10^{-7}$

КС-4	0,11279	$0 \dots 8,565 \cdot 10^{-5}$	$3,878 \cdot 10^{-7}$
ПУ	0,05639	$4,152 \cdot 10^{-12} \dots 1,658 \cdot 10^{-7}$	$2,038 \cdot 10^{-9}$
узел учета	0,05639	$0 \dots 1,862 \cdot 10^{-7}$	$2,334 \cdot 10^{-9}$
		Итого: $R_m =$	$9,785 \cdot 10^{-7}$

2.5.2.1 Расчет степени поражения людей и зданий в зоне действия ударной волны

Величина избыточного давления в ударной волне, а также расстояние от центра взрыва, определяет степень поражения людей и зданий, которые находятся в зоне действия ударной волны. Для определения безопасного расстояния от центра взрыва, рассчитаем избыточное давление ударной волны со следующими значениями расстояний: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 70, 100 (таблица 5). Масса выброшенного природного газа при аварии бралась равной 2635,4 кг.

Таблица 5 – Степень поражения людей и зданий в зоне действия ударной волны R от центра взрыва

Избыточное давление, ΔP , кПа	Расстояние от центра взрыва, R, м	Степень повреждения здания	Степень поражения людей
107 - 711	15 - 35	Полное разрушение здания	Крайне тяжелая (смертельное поражение)
82	40	Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	Тяжелая (сильная контузия, кровотечения, тяжелые переломы)
31 - 54	50	Средние повреждения, возможно восстановление здания	Средняя (серьезная контузия всего организма, кровотечения, сильные вывихи)
31	70	Средние повреждения, возможно восстановление здания	Легкая (ушибы, общая контузия, временная потеря слуха)
18	100	Разрушение оконных проемов, легкобросаемых конструкций	Легкая (ушибы, общая контузия, временная потеря слуха)

2.5.2.2 Расчет максимальных размеров взрывоопасных зон

Размеры зоны (радиус $R_{НКПР}$ и высота $Z_{НКПР}$) рассчитываются, учитывая ограничивающие области концентраций, которые превышают нижний

концентрационный предел распространения пламени $C_{\text{НКПР}}$ (таблица 6) [14].

Таблица 6 – Расчет размеров взрывоопасных зон

Название параметра	Расчетная формула	Результат расчета
Радиус, $R_{\text{НКПР}}$, м	$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \times \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \times C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}$	71,7
Высота, $Z_{\text{НКПР}}$, м	$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \times \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \times C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}$	2,4

Раздел 3 Оценка ущерба от потенциальной аварии

Последствия от аварии могут быть различны и приводить к ущербу во многих отраслях, таких как экономическая, экологическая, социальная и др. Конечные данные по результатам расчета ущерба от аварии на КС представлены в таблице 7.

Но с учетом на расстоянии и ударной волны, ущерб может быть значительно выше. На практике с учетом разных факторов, которые в данной работе не учитывались, ущерб может быть, как выше, так и ниже [15].

Таблица 7 – Экономический ущерб при реализации прогнозируемых аварий

Вид ущерба, руб.	Расчетная формула	ГПА (4 человек)	ГПА (20 человек)
Социально-экономические потери	$Y_{\text{с-э}} = Y_{\text{г.п}} + Y_{\text{т.п}}$	2 487 076	12 435 380
Прямой ущерб предприятию	$Y_{\text{пр}} = Y_{\text{о.ф.у}} + Y_{\text{т-м.ц}}$	5 352 500	5 352 500
Затраты на локализацию (ликвидацию последствий) аварии	$Y_{\text{л.а}} = 0,1 \cdot (Y_{\text{пр}})$	535 250	535 250
Ущерб, причиненный имуществу других лиц	$Y_{\text{им.др.л}} = Y_{\text{зд}} + Y_{\text{а/д}} + Y_{\text{ж/д}} + Y_{\text{ик}} + Y_{\text{с/х}} + B_{\text{зд}} + B_{\text{а/д}} + B_{\text{ж/д}} + B_{\text{ик}} + B_{\text{с/х}}$	0	0
Экологический ущерб	$Y_{\text{экол}} = 5 \cdot M_{\text{в}} \cdot K_{\text{и}} \cdot H_{\text{пл}}$	1 796	1 796
Полный ущерб	$Y_{\text{а}} = Y_{\text{с-э}} + Y_{\text{пр}} + Y_{\text{им.др.л}} + Y_{\text{л.а}} + Y_{\text{экол}}$	8 376 622	18 324 926

Раздел 4 Снижение профессиональных рисков при обслуживании компрессорных станциях

Техническое расследование причин аварий ведется для обнаружения «пробелов», которые перекрываются барьерами. Все факты и детали происшествий структурируются, определяется эскалация происшествия

(наихудший вариант развития событий), выявляются присутствующие и отсутствующие барьеры, определяется их эффективность. Это связано с тем, что они могли предотвратить то или иное происшествие. Таким образом, расследование причин аварий и инцидентов помогает разрабатывать меры по устранению последствий на опасном производственном объекте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных теоретических и расчетных исследований, анализа информации в области промышленной безопасности и защиты населения и территорий от негативных последствий техногенных ЧС, а также моделирования и оценки риска аварии на компрессорной станции ПХГ сформулированы следующие выводы:

1. С использованием программного комплекса проведены расчеты параметров, характеризующих пожарную опасность. Определены сценарии возникновения и развития пожароопасных ситуаций на рассматриваемом объекте при использовании метода логических деревьев событий а так же частоты возникновения разных иницирующих событий.

2. Частота возникновения иницирующего события с увеличением размера разгерметизации до разрушения будет заметно уменьшаться. В следствие язвенной коррозии образуются поры в металле ТП. Эти поры могут быть как малого, так и большого диаметра, но чаще всего они относительно малы. Они могут быть причиной сквозного прободения металла или сплава.

3. Результаты расчетов теплового потока показали, что с увеличением расстояния риск пострадать от теплового потока уменьшается, но для рабочих, налаживающих работу ГПА риск будет самым высоким значение теплового потока составляет порядка 30 кВт/м^2 . Наиболее безопасная зона – от 20 метров. В радиусе до 15 м персонал получит мгновенные ожоги в течение 20 сек. и непереносимую мгновенную боль.

5. Установлено, что индивидуальный пожарный *риск в зданиях, сооружениях и на территории компрессорной станции* составляет $9,785 \cdot 10^{-7}$ в

год, что *не превышает* нормативное значение $1 \cdot 10^{-6}$ в год. Индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара в *селитебной зоне не превышает* нормативное значение 10^{-7} в год⁻¹. В соответствии со ст. 6 и 93 ФЗ от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» *пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной*.

6. Установлены и рассчитаны параметры, характеризующие взрывную опасность. Показано, что безопасной зоной является территория с радиусом 100м и более от центра взрыва. На этом участке возможно частичное разрушение остекления и отделочного материала зданий. На расстоянии 15 м от центра взрыва значение избыточного давления ударной волны составляет 711 кПа, что приведет к полному разрушению находящихся рядом сооружений, а также смертельным поражениям людей.

7. Экономический расчет показал, что полный ущерб в результате потенциальной аварии на компрессорной станции составил 8 376 622 или 18 324 926 руб. при учете пострадавших 4 и 20 человек, соответственно.

8. По результатам оценки последствий реализации смоделированной аварии предложены мероприятия по защите – барьеры предотвращения и минимизации действия опасных факторов, позволяющие снизить уровни риска до приемлемых значений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коршак, А. А. Основы нефтегазового дела / А.А. Коршак, А.М.Шаммазов. – Уфа, Изд-во «УГНТУ», 2005. – 353 с.

2. Казарян, В. А. Подземное хранение газов и жидкостей / В. А. Казарян. – М.: Из-во «Ики», 2006. – 432 с.

3. Приказ Ростехнадзора от 09.12.2020 № 511 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов подземных хранилищ газа»

// [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140195> (дата обращения: 14.02.2023). Загл. с экрана. - Яз. рус.

4. СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. – М.: ООО Газпром «ВНИИГАЗ», 2010. – 15 с.

5. Сорока, С. В. Подземные хранилища газа: общие представления и назначения / С. В. Сорока // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук, Казань, 29 июня. Изд-во: ООО «Конверт», 2018. – С. 29-31.

6. Собурь, С. В. Пожарная безопасность нефтегазохимических предприятий: справочник / С. В. Собурь. – Москва: ПожКнига, 2004. – 432 с.

7. Башкин, Н. В. Аварийные выбросы природного газа: проблемы и пути их решения / Н. В. Башкин, Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – №8. – С. 4-11.

8. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 12.10.2023). Загл. с экрана. - Яз. рус.

9. Сухарев, М. Г. Статистический анализ аварийности газораспределительных систем / М. Г. Сухарев, А. Г. Лапига, Э. В. Калинина // Территория Нефтегаз. – 2010. – №4. – С. 16-17.

10. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 9.01.202). Загл. с экрана. - Яз. рус.

11. Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» // [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: <https://base.garant.ru/74423021/> (дата обращения: 9.01.202). Загл. с

экрана. - Яз. рус.

12. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № 404, с изм., утв. приказом МЧС России от 14.12.2010 г. № 649) // [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: <https://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 10.01.2024). Загл. с экрана. – Яз. рус.

13. Приказ Ростехнадзора от 22.12.2022 № 454 «Об утверждении руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа» // [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300823854> (дата обращения: 25.01.2023). Загл. с экрана. - Яз. рус.

14. Шебеко, А. Ю. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / А.Ю. Шебеко. М.: ВНИИПО, 2015. – 230с.

15. Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ // [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: <https://base.garant.ru/12112505/> (дата обращения: 25.12.2023). Загл. с экрана. - Яз. рус.