

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

Оценка риска аварии на площадке компрессорной станции ЛПУМГ

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента (ки) 4 курса 441 группы
направления 20.03.01 «Техносферная безопасность»
код и наименование направления, специальности
Института химии

Шаровой Анжелины Руслановны

Научный руководитель

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

подпись, дата

В.З. Углова
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

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

подпись, дата

Р.И. Кузьмина
инициалы, фамилия

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время голубое топливо является самым распространенным энергоносителем. Для устойчивого развития газовой промышленности необходима надежная защита, а также эффективная эксплуатация линейных производственных управлений магистральных газопроводов (ЛПУМГ).

Одним из основных технологических объектов ЛПУМГ являются компрессорные станции (КС), которые, к тому же, представляют наибольшую пожаро- и взрывоопасность. Главной функцией данного объекта является повышение давления природного газа, и как следствие, увеличение пропускной способности газопровода, на этапах добычи, транспортировки газа, а также при его хранении.

На территории нашей страны общая протяженность системы газотранспорта составляет 170,7 тыс. км. Компрессорных станций – 250, в общей сложности на которых располагаются 3825 газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Аварии на КС приводят к большим экономическим затратам, включая потери газа, простой и ликвидацию аварии. Основными факторами, из-за которых возможно возникновение аварийной ситуации на компрессорной станции, являются отличительные особенности таких объектов, а именно – высокие механические напряжения в конструктивных элементах технологических трубопроводов, высокая производительность, а также значительный объем шлейфов, что может привести к большому выбросу газа за относительно небольшой промежуток времени. Система обеспечения безопасности на КС должна включать в себя мониторинг параметров оборудования станции, анализ аварийных ситуаций, их причин, прогноз потенциальных аварий на единичных установках и т.д.

Таким образом, мероприятия, связанные с постоянным повышением уровня безопасности на одном из основных объектов ЛПУМГ – компрессорной станции, в связи с возможными чрезвычайными ситуациями

(авариями, инцидентами и т.д.), последствиями которых являются экономический и экологический ущерб, а также человеческие жертвы, являются *актуальными*. В целях идентификации опасностей, обоснования технических мер предупреждения аварий и инцидентов необходимо проводить изучение возможных рисков для объектов ЛПУМГ.

В связи с этим, целью бакалаврской работы является *анализ и оценка* риска возникновения аварии на исследуемом опасном производственном объекте (компрессорная станция ЛПУМГ), а также мероприятий по повышению уровня промышленной безопасности объекта.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- идентифицировать основные опасности (пожарная, взрывная), условия их реализации, последствия;

- определить и рассчитать параметры, характеризующие поражающие факторы пожарной и взрывной опасностей потенциальной аварии на исследуемом объекте с учетом его характеристик;

- сформулировать основной комплекс мероприятий по предупреждению возникновения потенциальной аварии и минимизации воздействия возможных негативных последствий.

Раздел 1 Обзор литературы. Аварийность на объектах газовой промышленности

1.1 Транспортировка газа: классификация и требования к эксплуатации газопроводов

Транспортировка газа по трубам, диаметром до 1400 мм, осуществляется под давлением 75 атм. Через определенные расстояния, примерно 100-150 км друг от друга, располагаются компрессорные станции (КС), которые помогают предотвратить падение давления газа и увеличивают

его проходную способность. Для транспортировки газа на большие расстояния предназначены магистральные газопроводы, которые сооружаются из стальных труб, диаметром от 720 до 1420 мм. Рабочее давление газа в магистральных трубопроводах от 5,4 до 7,5 МПа.

Главные технологические параметры магистрального трубопровода – это, в первую очередь, его диаметр и рабочее давление. Сюда же можно отнести и годовую производительность, а также протяженность газопровода. Компрессорные станции являются неотъемлемой частью газотранспорта, поэтому их число, температура охлаждения и степень сжатия газа на них, тоже являются важными параметрами.

1.2 Опасности трубопроводного транспорта газа. Причины аварийных ситуаций и их сценарии

Основные причины возникновения аварийных ситуаций на линейной части газопровода: дефекты в трубах и сварных стыках, наружная и внутренняя коррозия, брак строительно-монтажных работ, нарушение правил технической эксплуатации.

Аварийные ситуации на газопроводе опасны возникновением воздушной ударной волны, в результате расширения сжатого газа, выбросом большого объема грунта и образованием грунтового котлована, разлетом осколков оборудования и газопроводов, высокоскоростным истечением газа и его горением, истечением и газификацией легковоспламеняющихся жидкостей, образованием и дрейфом газовоздушных и токсичных паровоздушных облаков, а также распространением газового шлейфа.

1.3 Объекты подземного хранения газа: назначение, особенности эксплуатации и опасности

Подземные хранилища газа (ПХГ) – это объекты, предназначенные для регулирования неравномерности газопотребления, обусловленной временем

года, а также для образования резервных запасов, с целью поддержания стабильности поставок газа.

Наиболее опасная аварийная ситуация связана с разгерметизацией хранилища - утечка газа, воспламенение и взрыв газозвушной смеси, возникновение пожара. При утечке газ выходит на земную поверхность или проникает в вышележащие пласты. Данная авария способна нанести большой вред окружающей среде.

1.4 Статистика аварийности на объектах газовой промышленности

Ежегодные отчеты Ростехнадзора предоставляют сведения о количестве аварий за год, а также их причинах. Таким образом, наибольшее число аварий произошло из-за внешней и внутренней коррозии металла. Количество аварий в результате износа оборудования возрастает, что связано с увеличением срока эксплуатации газопроводов. Общее количество аварий на линейной части магистрального газопровода снижается, в связи с увеличением объемов капитального ремонта, более тщательных проверок газопроводов на дефекты и прочие неисправности, повышением степени защиты от коррозии (использование средств электрохимической защиты) и т.д.

Раздел 2 Расчетная часть

2.1 Объект исследования. Площадка компрессорной станции ЛПУМГ

В качестве объекта исследования выбрана площадка компрессорных станций (КС) ЛПУМГ (Саратовская область), являющаяся типичным примером. По федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ площадка относится к группе взрывопожароопасных производственных объектов, имеет 2 класс опасности, опасное вещество – природный газ.

2.2 Сценарии потенциальных аварийных ситуаций на объекте

Наиболее вероятная авария на КС – пожар газа при разгерметизации т/о трубок аппаратов воздушного охлаждения газа. Наиболее опасная по последствиям авария – факельное горение газа при разгерметизации всасывающих/нагнетательных коллекторов ГПА.

2.3 Расчёт интенсивности истечения газа технологической линии

При разгерметизации технологической линии на площадочных сооружениях проводят расчет параметров, характеризующих интенсивность истечения газа технологической линии на площадочных сооружениях компрессорной станции (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет интенсивности истечения газа

Название параметра	Расчетная формула	Результат расчета
Этап I		
Расход газа, $G_1(t)$, кг/с	$G_1(t) = \frac{M_H}{\eta_L^2 \cdot \varepsilon_L} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\eta_L^2 \cdot \varepsilon_L}\right) + \frac{(M_T - M_H)}{\varepsilon_L} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\varepsilon_L}\right)$	23,6
Масса выброшенного газа из аварийного участка, $M_{в1}$, кг	$M_{в1} = M_H \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t_L}{\eta_L^2 \cdot \varepsilon_L}\right)\right) + (M_T - M_H) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t_L}{\varepsilon_L}\right)\right)$	282,03
Этап II		
Расход газа, $G_2(t)$, кг/с	$G_2(t > t_L) = G_1(t_L) \cdot \exp\left(-\frac{t - t_{\text{закрытия}}}{\varepsilon_x}\right)$	1,23
Масса выброшенного газа из аварийного участка, $M_{в2}$, кг	$M_{в2} = \varepsilon_x \cdot G_2(t > t_L)$	12,46
Общая масса выброшенного газа из аварийного участка,	$M_0 = M_{в1} + M_{в2}$	294,49

M_o , кг		
------------	--	--

2.4 Расчет геометрических параметров пламени при факельном горении газа, интенсивности теплового излучения

В случае проведения оценки пожарной опасности факельного горения газа, именно размеры факела определяют зону непосредственного контакта окружающих объектов с пламенем (таблица 2, 3).

Таблица 2– Расчет геометрических параметров пламени

Геометрические параметры пламени		
Название параметра	Расчетная формула	Результат расчета
Длина факела, $L_{\phi}^{(стр)}$, м	$L_{\phi}^{(стр)} = K \cdot G^{0.4}$	45,17
Ширина малого основания, W_1 , м	$W_1 = D \cdot \sqrt{\frac{\rho_E}{\rho_S}}$	2,43
Ширина большого основания, W_2 , м	$W_2 = 0,26 \cdot L_{\phi}^{(стр)}$	11,76
Ширина факела (струя газа в виде цилиндра), D_{ϕ} , м	$D_{\phi} = 0,15 \cdot L_{\phi}^{(стр)}$	6,77
Отрыв факела пламени от среза разорванной трубы, h , м	$h = 0,2 \cdot L_{\phi}^{(стр)}$	9,03
Длина видимой части пламени, R_L , м	$R_L = L_{\phi}^{(стр)} - h$	36,14

Таблица 3– Расчет интенсивности теплового излучения от факела

Название параметра	Расчетная формула	Результат расчета
Расстояние от факела 10 м		
Угловой коэффициент облученности, F_q	$F_q = \sqrt{F_V^2 \cdot F_H^2}$	0,028
Коэффициент пропускания атмосферы, τ	$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4}(r - 0,5 \cdot d)]$	0,995
Интенсивность теплового излучения, q, кВт/м²	$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau$	9,75

Расстояние от факела 20 м		
Угловой коэффициент облученности, F_q	$F_q = \sqrt{F_V^2 \cdot F_H^2}$	0,004
Коэффициент пропускания атмосферы, τ	$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4}(r - 0,5 \cdot d)]$	0,988
Интенсивность теплового излучения , q, кВт/м²	$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau$	1,38

2.5 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 (таблица 4).

Таблица 4 – Степени поражения людей и зданий в зоне действия ударной волны на расстоянии R от центра взрыва

Избыточное давление, ΔP , кПа	Расстояние от центра взрыва, R, м	Степень повреждения здания	Степень поражения людей
137	15	Полное разрушение здания	Крайне тяжелая (смертельное поражение)
77	20	Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	Тяжелая (сильная контузия, кровотечения, тяжелые переломы)
51	25	Средние повреждения, возможно восстановление здания	Средняя (серьезная контузия всего организма, кровотечения, сильные вывихи)
37	30	Средние повреждения, возможно восстановление здания	Легкая (ушибы, общая контузия, временная потеря слуха)
29	35		

24	40	Разрушение оконных проемов, легкосбрасываемых конструкций	Легкая (ушибы, общая контузия, временная потеря слуха)
17	50		Безопасное расстояние для людей
11	70	Частичное разрушение остекления	Безопасное расстояние для людей
7	100		

2.6 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 СНКПР (таблица 5).

Таблица 5– Расчет размеров взрывоопасных зон

Название параметра	Расчетная формула	Результат расчета
Радиус, $R_{НКПР}$, м	$R_{НКПР} = 7,8 \times \left(\frac{m_{г}}{\rho_{г} \times C_{НКПР}} \right)^{0,33}$	32,6
Высота, $Z_{НКПР}$, м	$Z_{НКПР} = 0,26 \times \left(\frac{m_{г}}{\rho_{г} \times C_{НКПР}} \right)^{0,33}$	1,1

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 6.

Таблица 6 – Сводные данные расчета ущерба

Вид ущерба	Расчетная формула	Величина ущерба, руб.
Социально-	$Y_{с-э} = Y_{г.п} + Y_{т.п}$	3 108 845

экономические потери		
Прямой ущерб	$Y_{\text{пр}} = Y_{\text{о.ф.у}} + Y_{\text{т-м.ц}}$	5 323 600
Затраты на локализацию (ликвидацию последствий) аварии	$Y_{\text{л.а}} = 0,1 \cdot (Y_{\text{пр}} + Y_{\text{им.др.л}})$	532 360
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
Экологический ущерб	$Y_{\text{экол}} = 5 \cdot M_{\text{в}} \cdot K_{\text{и}} \cdot H_{\text{пл}}$	20 064
Полный ущерб	$Y_{\text{а}} = Y_{\text{с-э}} + Y_{\text{пр}} + Y_{\text{им.др.л}} + Y_{\text{л.а}} + Y_{\text{экол}}$	8 894 869

Раздел 4 Организационно-технические мероприятия по минимизации аварийности на площадочных объектах

К инженерно-техническим мероприятиям, направленных на предупреждение аварий на площадочных объектах КС, относят:

- увеличение объема контроля качества сварных и фланцевых соединений различными методами неразрушающего контроля;
- повышение защиты технологических трубопроводов от коррозии с помощью защитных изоляционных покрытий;
- применение для предотвращения разгерметизации оборудования (газопроводов) предохранительных клапанов в случае превышения давления;
- своевременный контроль газопроводов на эрозионный износ, осмотр запорной арматуры;
- проведение периодических испытаний на прочность и герметичность газопроводов;
- выделение зон по степени опасности и определение очередности проведения ремонтных работ.

Организационные мероприятия включают:

- повышение квалификации технического персонала по безопасной эксплуатации объекта;
- контроль знаний техники безопасности, правил охраны труда работников предприятия;
- уменьшение возможности нахождения людей (в том числе персонала объекта) в зоне поражающих факторов аварий;
- повышение контроля охранной зоны, соблюдение минимальных расстояний до других объектов;
- обеспечение высокой готовности персонала, сил и средств аварийно-спасательных формирований к локализации и ликвидации последствий аварий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании проведенных исследований, анализа информации в области промышленной безопасности и защиты населения и территорий от негативных последствий техногенных ЧС, а также расчетных данных, были сформулированы следующие выводы:

1. Проведен анализ имеющихся фундаментальных, исследовательских и статистических данных, который позволил установить особенности исследуемого объекта, его основные опасности, а также условия их реализации. Выделяют следующие условия (причины): дефекты в трубах и сварных стыках, наружная и внутренняя коррозия, брак строительно-монтажных работ, нарушение правил технической эксплуатации.

2. Установлены и рассчитаны параметры, характеризующие пожарную опасность. Найдены геометрические параметры горящего факела (длина, ширина, отрыв факела пламени от среза разорванной трубы), а также интенсивность теплового излучения от него. Установлено, что на расстояние 10 м при значении интенсивности $9,75 \text{ кВт/м}^2$ люди получают ожоги 1 и 2 степеней в течение первых 6 с (1 степень) и 12 с (2 степень) воздействия

поражающего фактора. В связи с этим необходимо обязательное применение средств индивидуальной защиты (СИЗК, СИЗГ). На расстояние 20 м интенсивность теплового излучения равна $1,38 \text{ кВт/м}^2$, что не приведет к негативным последствиям для персонала.

3. Установлены и рассчитаны параметры, характеризующие взрывную опасность. Найдено, что безопасной зоной является территория с радиусом 70 и более метров от центра взрыва, избыточное давление во фронте ударной волны составит 11 кПа. На этом участке возможно частичное разрушение остекления и отделочного материала зданий. На расстоянии 15 м от центра взрыва значение избыточного давления ударной волны составляет 137 кПа, что приведет к полному разрушению находящихся рядом сооружений, а также смертельным поражениям людей.

4. Полный ущерб в результате потенциальной аварии на компрессорной станции составил 8 894 869 руб.

5. Оценены организационные и инженерно-технические мероприятия по повышению уровня безопасности объекта и населения, проживающего вблизи опасного производственного объекта, а также мероприятия по ликвидации потенциальной ЧС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колпакова, Н. В. Газоснабжение: Учебное пособие / Н. В. Колпакова, А. С. Колпаков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.

2. Великанов, Н. Л. Транспортировка газа различными способами / Н. Л. Великанов, С. И. Корягин, А. М. Гарина // ТТПС. – 2019. – №1. – С. 2-3.

3. СТО Газпром 2-3.5-454-2010. Правила эксплуатации магистральных газопроводов // [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: https://samara-tr.gazprom.ru/d/textpage/8e/142/sto_2_35_454_2010-2.pdf (дата обращения: 10.01.2023). Загл. с экрана. - Яз. рус.

4. Яловец, Н. Е. Анализ пожарной опасности процесса транспортировки природного газа магистральным трубопроводом / Н. Е. Яловец, А. Ю. Цурпал, Н. И. Сахоненко // Научный журнал. – 2019. – №11(45). – С. 38-40.

5. Идрисов, Р. Х. Анализ аварийности магистральных трубопроводов России / Р. Х. Идрисов, К. Р. Идрисова, Д. С. Кормакова // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2019. – №2. – С. 44-46.

6. 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.

7. Слепокуров, А. В. Анализ обеспечения безопасности на компрессорной станции / А. В. Слепокуров, Ю. В. Сивков // Новые технологии - нефтегазовому региону, Тюмень, 16-20 мая. Изд-во «Тюменский ИУ», 2016. – С. 91-92.

8. 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.

9. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ // [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046058> (дата обращения: 25.03.2023). Загл. с экрана. - Яз. рус.

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