

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

АВТОРЕФЕРАТ
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
БАКАЛАВРА

студента 4 курса 441 группы

направления (специальности) 20.03.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления (специальности)

Института химии

наименование факультета, института, колледжа

Сарсенбаевой Алины Султановны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент, к.т.н.

должность, уч. степень, уч. звание

Свешникова Е.С.

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

Кузьмина Р.И.

инициалы, фамилия

Саратов, 2024 г

Введение

Сеть газораспределения и газопотребления – это ключевая отрасль газоснабжения нашей страны, а газорегуляторные пункты являются одними из важнейших элементов в обеспечении бесперебойной подачи газа потребителям. Эти объекты представляют собой комплексное техническое оборудование, которое требует высокой степени внимания к вопросам безопасности при эксплуатации.

В числе главных причин отказов в процессе редуцирования являются динамические нагрузки, вибрации - колебания, которые могут возникать в газопроводе из-за различных факторов, таких как турбулентность потока газа, механические воздействия, изменения давления и температуры, а также вибрация смежных конструкций или оборудования. Одним из основных последствий воздействия вибрации на трубопроводы является их преждевременный износ, который впоследствии может привести к протечкам, деформациям и даже к разрушениям конструкций. В результате возникают не только финансовые потери из-за ремонтов и замен оборудования, но и риск для безопасности персонала и окружающей среды.

Актуальность данной работы состоит в исследовании системы газораспределения, а именно участка газорегуляторного пункта и выявления «уязвимых» мест, ведущих к образованию вибрационного воздействия, приводящего к аварийным последствиям в системе газоснабжения.

В результате чего, *целью работы является*: изучение литературных данных по способам уменьшения влияния вибрационного воздействия на трубопроводе при редуцировании газа в газораспределительных пункта, а также расчет поражающих факторов вероятных сценариев аварий.

Исходя из поставленной цели, необходимо выполнить следующие *задачи*:

1. Изучить устройства и принцип работы газорегуляторного пункта;
2. Исследовать влияние вибраций на газопровод, с целью определения возможных причин возникновения колебаний и перспектив их усиления.

3. Смоделировать различные аварийные ситуации, возникающие в газопроводе из-за вибраций, с оценкой потенциальных угроз для безопасности, эффективности эксплуатации газопровода, а также угроз для окружающей среды и людей.

4. Разработать рекомендаций по уменьшению риска возникновения аварии на газопроводе исследуемого ГРП, учитывая особенности конструкции и технические параметры, с целью обеспечения надежной работы газопровода.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определена цель работы и задачи, дана общая характеристика работы.

Содержание 1 главы: в данном разделе рассмотрены назначение и характеристика газорегуляторных пунктов, состав технологических блоков и описание технологического процесса.

Статистические данные о видах и количествах аварий на объектах газораспределения, а также выявлены основные причины аварийных ситуаций, подробно рассмотрено влияние динамических нагрузок на трубопровод и изучены теоретические основы методов их уменьшения.

Содержание 2 главы: в данном разделе описано составленное «дерево событий» и исследованы все возможные сценарии развития аварий. Выполнен расчет поражающих факторов максимально опасной чрезвычайной ситуации «утечка газа с мгновенным воспламенением».

В исследование входят:

1. Расчет избыточного давления взрыва для горючих газов;
2. Расчет уровней разрушений под действием взрыва;
3. Расчет интенсивности теплового излучения при образовании пожара

Содержание 3 главы: в разделе предложены общие меры по снижению вероятности реализации аварий, в том числе разработаны предложения по уменьшению риска возникновения аварии на газопроводе исследуемой ГРП.

1. Режимы работы и режимные параметры исследуемой ГРП

Газорегуляторный пункт предназначен для обеспечения потребителей от магистрального газопровода с давлением от 1,2 до 7,5 МПа путем понижения входного давления до 1,2-0,3 МПа и поддержанием заданного параметра.

Пропускная способность пункта 5000 м³/ч при входном давлении $P_{\text{вх}} = 0,235$ МПа (2,4 кгс/см²) и $P_{\text{вых}} = 0,003$ МПа (0,031 кгс/см²).

Блок разделен газонепроницаемой перегородкой на отопительное и технологическое отделения, вход в которые осуществляется через различные двери. Для вентиляции отделений предусмотрены вентиляционные трубы с дефлекторами. Для естественного освещения отделений предусмотрены окна. Питание электрического оборудования ПГБ осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В ± 10%.

1.1 Описание технологического процесса

Газ через входной газопровод поступает на фильтр, загрязнение которого контролируется двумя манометрами высокого давления. В фильтре природный газ очищается от механических примесей, и через предохранительно запорный клапан подается в регулятор давления, где давление газа снижается и поддерживается постоянным, независимо от расхода. В случае повышения давления газа после регулятора выше допустимых значений — срабатывает предохранительно-сбросной клапан, в результате чего излишки давления газа сбрасываются в атмосферу через сбросную свечу. До регулятора смонтирована продувочная свеча с краном.

После регулятора и ПСК газ с пониженным давлением подается потребителю через задвижку.

1.2 Причины возникновения вибрационных нагрузок на трубопроводе

Вибрационные нагрузки являются одними из частых причин неисправностей в процессе редуцирования газа. Эти колебания, которые могут возникать в газопроводе из-за различных факторов, таких как:

- турбулентность потока газа;

- возникновение резонансов в отдельных участках трубопроводов;
- пульсации давления потока;
- изменения давления и температуры;
- а также вибрация смежных конструкций или оборудования.

1.3 Методы уменьшения вибраций

Зачастую еще на этапе проектирования специалистами принимается ряд мер предотвращающих возникновение вибрации в будущем. Начиная от правильного выбора места прохождения газопровода, до учета гидравлических факторов.

В процессе эксплуатации широкое применение получили следующие методы:

- Виброизоляция. Использование специальных прокладок на крепежах, опорах и других частях газопровода, чтобы поглотить и уменьшить колебания, например использование виброизоляционных хомутов крепления (изготавливают из таких материалов как резина, пластик).

- Динамическое виброгашение – подразумевает установку оборудования на фундамент с определенной массой или применением динамических виброгасителей.

Динамические виброгасители представляют собой дополнительную колебательную систему, собственная частота которой настроена на основную частоту колебаний оборудования, вибрация которого снижается. Подбором массы и жесткости виброгасителя обеспечивается выполнение уравновешивание вибраций.

- Вибропоглощение. Это процесс уменьшения уровня вибрации путем превращения энергии механических колебаний в тепловую. Широкое применение получили аксиальные высоковязкие демпферы. Они представляют собой пружинные устройства, которые амортизируют вибрацию.

Если техническими методами невозможно снизить уровень вибрации до гигиенических норм, рекомендуется использование средств индивидуальной

защиты (рукавицы с эластично-трубчатыми элементами, сапоги, ботинки, оснащенных подошвой или вкладышем из упругодемпфирующего вещества)

2. Древо событий

На территории ГРП происходит утечка газа, частота данного события в год $2,4 \times 10^{-4}$ (год⁻¹), присутствует риск возникновения следующих сценариев:

Сценарий №1: в исследуемом сценарии вероятность разгерметизации газопровода до ГРП утечка природного газа в атмосферу, с последующим воспламенением с образованием пожара-вспышки

Сценарий №2: в исследуемом сценарии рассматривается вероятность утечки природного газа без мгновенного воспламенения газа с последующим взрывом первичного облака ГВС

Сценарий №3: в исследуемом сценарии рассматривается вероятность утечки природного газа с мгновенным воспламенением, с выбросом в производственное помещение (ГРП).

Сценарий №4: в данном сценарии рассматривается вероятность утечки природного без мгновенного воспламенения газа и впоследствии ликвидация аварии.



2.5 Расчет вероятности возникновения сценариев аварийной ситуации

Расчет вероятности возникновения аварийной ситуации необходим для оценки рисков, выявления наиболее опасных сценариев, и в результате этого разработки стратегии минимизации их возникновения.

Расчет вероятности возникновения всех сценариев аварийной ситуации проводится по формуле вероятностей совместных событий P_{C_n} :

$$P_{C_n} = P_0 \times P_{0.n} \times P_{0.n.i} \times P_{0.n.i.k} \times \dots$$

Рассмотрим сценарий №1: в нем исследуется вероятность утечки природного газа без мгновенного воспламенения газа и впоследствии ликвидации. Расчеты проводятся по формуле (1):

$$P_{C_1} = P_0 \times P_{0.1} \times P_{0.1.1},$$

По формуле P_0 – разгерметизация, утечка в газопроводе (2.4×10^{-4} (год⁻¹));

$P_{0.1}$ – истечение продуктов без мгновенного воспламенения;

$P_{0.1.1}$ – ликвидация аварии.

Расчет:

$$P_{C_1} = 2.4 \times 10^{-4} \times 5.7 \times 10^{-1} \times 5.2 \times 10^{-1} = 7,113 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Сценарий №2: в рассмотренном сценарии исследуется вероятность утечки природного газа без мгновенного воспламенения и впоследствии образования пожара (при наличии источника зажигания):

$$P_{C_2} = P_0 \times P_{0.1} \times P_{0.1.2},$$

где: $P_{0.1.2}$ – тепловое воздействие (пожар).

Расчет:

$$P_{C_2} = 2.4 \times 10^{-4} \times 5.7 \times 10^{-1} \times 2.2 \times 10^{-1} = 3,0096 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

Сценарий №3: в данном сценарии исследуется вероятность утечки природного газа без мгновенного воспламенения, образования ГВС (при наличии источника воспламенения) и последующим возникновением огненного шара (взрыва).

$$P_{C_3} = P_0 \times P_{0.2} \times P_{0.2.1},$$

где $P_{0.2.1}$ – возникновением огненного шара (взрыва).

Расчет:

$$P_{C_3} = 2.4 \times 10^{-4} \times 5.7 \times 10^{-1} = 13,68 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

Для дальнейших детальных расчетов приняты сценарии №2 и №3, связанные с разгерметизацией газопровода и с последующим формированием полей поражающих факторов.

2.5.1 Оценка опасностей при аварии со взрывом

Исходные данные:

Трубопровод среднего давления $P_T = 0,235 \text{ МПа} = 2,4 \text{ кгс/см}^2$;

Максимальный расход газа $q = 0,076 \text{ м}^3/\text{с}$;

Время перекрытия задвижек (ручное) $T_{\text{перекрыт}} = 300 \text{ с}$;

Температура транспортируемого газа $T = 26 \text{ }^\circ\text{C} = 299,15 \text{ К}$;

Площадь аварийного отверстия ($d=5\text{см}$), $F = 0,0196 \text{ м}^2$;

Длина участка газопровода, от задвижки до задвижки $L=2+1,7+10=12 \text{ м}$;

Скорость ветра в момент аварии $\vartheta = 6,5 \text{ м/с}$;

Для расчета поражающего действия взрывов ГВС рассчитываются параметры воздушной ударной волны.

Объем газа, вышедший из отверстия газопровода, определяется по формуле:

$$V_T = (V_{1T} + V_{2T}) * \rho \quad (2)$$

где V_{1T} -объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м^3 ;

$$V_{1T} = q \times T = 0,076 \times 300 = 22,8 \text{ м}^3, \quad (2.1)$$

где q - расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$;

T – время, до перекрытия трубопровода, с;

V_{2T} -объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м^3 ;

$$V_{2T} = 0.01 \times \pi \times P_2 \times (r_1^2 \times l_1 \times r_n^2 \times l_n) = 5,53 \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

где P_2 – максимальное давление в трубопроводе, равное 235 кПа;

r – внутренний радиус трубопровода, м;

L – длина трубопроводов, м.

$$V_T = 22,8 + 5,53 = 28,33 \text{ м}^3$$

Вычислим массу газа, зная объем:

$$m = V_T * \rho = 28,33 * 0,6589 = 18,67 \text{ кг} \quad (3)$$

Граница зоны детонации, ограниченная радиусом r_0 , может быть определена по формуле:

$$r_0 = 12,5 \sqrt{\frac{M}{\vartheta}} = 12,5 \sqrt{\frac{6,76}{6,5}} = 12,74 \text{ м}, \quad (4)$$

где M - массовый секундный расход газа, кг/с;

ϑ - скорость ветра, м/с;

Массовый секундный расход газа M из газопровода для критического режима истечения, может быть определен по формуле:

$$M = \Psi * F * \mu * \sqrt{\frac{P_r}{V_y}} = 0,7 * 0,019 * 0,8 * \sqrt{\frac{235000}{0,62}} = 6,76 \text{ кг/с} \quad (4.1)$$

где Ψ - коэффициент, учитывающий расход газа от состояния потока;

F - площадь сечения (трещины) трубопровода, м²;

μ - коэффициент расхода, учитывает форму трещины;

P_r - давление газа в газопроводе, Па;

V_y - удельный объем транспортируемого газа при параметрах в газопроводе (определяется по формуле 4.2).

$$V_y = R_0 * \frac{T}{P_r} = 486 * \frac{299,15}{235000} = 0,62 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (4.2)$$

где T - температура транспортируемого газа, К;

R_0 - удельная газовая постоянная, равная 486 Дж/кмоль×К;

M - молярная масса компонентов, кг/кмоль;

n - число компонентов.

Величину избыточного давления ΔP , кПа, развиваемого при сгорании газопаровоздушных смесей, определяют по формуле

$$\Delta P = P_0 * \left(\left(0,8 * \frac{m_{np}^{0,33}}{r} \right) + \left(3 * \frac{m_{np}^{0,66}}{r^2} \right) + \left(5 * \frac{m_{np}}{r^3} \right) \right) \quad (5)$$

где P_0 - атмосферное давление, = 101 кПа;

r - расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м;

m_{np} - приведенная масса газа, кг, вычисляется по формуле

$$m_{np} = \left(\frac{Q_{сг}}{Q_0} \right) * m * z = \left(\frac{4,4 * 10^7}{4,52 * 10^6} \right) * 18,67 * 0,1 = 18,17 \text{ кг} \quad (5.1)$$

где Q_0 - удельная теплота сгорания газа, равная $4,4 * 10^7$ Дж/кг;

z - коэффициент участия горючих газов и паров в горении, равная 0,1;

Q_0 - константа, равная $4,52 * 10^6$ Дж×кг;

m - масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

Рассчитав приведенную массу газа, находим избыточное давление при сгорании ГВС, на разных расстояниях от разгерметизации, $r = 3, 6, 9, 12$ м:

$$\Delta P_1 = 101 * \left(\left(0,8 * \frac{18,17^{0,33}}{3} \right) + \left(3 * \frac{18,17^{0,66}}{9} \right) + \left(5 * \frac{18,17}{27} \right) \right) = 838 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_2 = 101 * \left(\left(0,8 * \frac{18,17^{0,33}}{6} \right) + \left(3 * \frac{18,17^{0,66}}{36} \right) + \left(5 * \frac{18,17}{216} \right) \right) = 638 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_3 = 101 * \left(\left(0,8 * \frac{18,17^{0,33}}{9} \right) + \left(3 * \frac{18,17^{0,66}}{81} \right) + \left(5 * \frac{18,17}{729} \right) \right) = 134 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_4 = 101 * \left(\left(0,8 * \frac{18,17^{0,33}}{12} \right) + \left(3 * \frac{18,17^{0,66}}{144} \right) + \left(5 * \frac{18,17}{1728} \right) \right) = 37 \text{ кПа};$$

В результате расчетных данных, можно сказать о том, что наибольшее значение избыточного давления будет наблюдаться непосредственно вблизи разрыва газопровода, так например, на расстоянии 3 м - $\Delta P = 838$ кПа, 12 м - $\Delta P = 37$ кПа.

Расчет уровней разрушений под действием взрыва

Расстояние от предполагаемого центра взрыва до объекта, т.е. радиус разрушений, который определяют по формуле:

$$R = K \times \frac{\sqrt[3]{W}}{\sqrt[6]{1 + \left(\frac{3180}{W}\right)^2}} \quad (6)$$

где W – тротильный эквивалент взрыва, кг;

Тротильный эквивалент взрыва рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{0.4 \times Z \times m \times q}{0.9 \times q_t} = \frac{0.4 \times 0,1 \times 18,67 \times 53082,49}{0,9 \times 4520} = 9,7 \text{ кг} \quad (6.1)$$

где Z – доля приведенной массы паров, участвующих во взрыве (принимается $Z = 0,1$);

q – низшая теплота сгорания = 53082,492 кДж/кг;

q_t – удельная энергия взрыва тротила = 4520 кДж/кг;

m – общая масса газа, кг.

Отсюда, согласно формуле 6 находим радиус разрушений:

$$R = K \times \frac{\sqrt[3]{9,7}}{\sqrt[6]{1 + \left(\frac{3180}{9,7}\right)^2}} = K * 0,31$$

Выделяют шесть основных зон опасности для следующих значений константы (таблица 4):

Таблица 4 – Зоны разрушений при взрыве природного газа с расчетным радиусом разрушений

| № п/п | Зоны разрушений | Избыточно е давление, Р, кПа | Константа соответствующ их разрушений | Радиус разрушений , R, м |
|-------|--|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 1 | Зона полного разрушения | 100 | 1 | 0,31 |
| 2 | Зона полного разрушения зданий | 53 | 3,8 | 1,19 |
| 3 | Зона 50%-го разрушения зданий | 28 | 5,6 | 1,74 |
| 4 | Зона разрушения зданий без обрушений | 17 | 9,6 | 2,98 |
| 5 | Зона умеренного разрушения зданий | 5 | 28 | 8,68 |
| 6 | Зона повреждения около 10 % остекления | 3 | 56 | 17,36 |

Населенный пункт находится от ГРП на расстоянии ≈ 100 м, а это значит, что при аварии на трубопроводе сильных степеней поражения не возникнет.

2.5.2 Расчет интенсивности теплового излучения при образовании пожара

Расчет интенсивности теплового излучения пожара q , кВт/м², проводят по формуле:

$$q = E_f \times F_q \times \tau \quad (7)$$

где: E_f - среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м². Допускается принимать E_f равным 450 кВт/м².

F_q - угловой коэффициент облученности;

τ - коэффициент пропускания атмосферы.

F_q рассчитывают по формуле:

$$F_q = \frac{H/D_s + 0.5}{4 \left[\left(\frac{H}{D_s} + 0.5 \right)^2 + \left(\frac{r}{D_s} \right)^2 \right]^{1.5}} = \frac{6,93/13,86 + 0.5}{4 \left[\left(\frac{6,93}{13,86} + 0.5 \right)^2 + \left(\frac{12}{13,86} \right)^2 \right]^{1.5}} = 0,11 \quad (7.1)$$

где: H - высота центра огненного шара, м;

D_S - эффективный диаметр огненного шара, м;

r - расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр «огненного шара» D_S , рассчитывают по формуле:

$$D_S = 5.33 \times m^{0.327} = 5.33 \times 18,67^{0.327} = 13,86 \text{ м}; \quad (7.1.1)$$

$$H = 13,86 / 2 = 6,93 \text{ м}$$

Время существования «огненного шара» t_S равна:

$$t_S = 0,92 \times m^{0.303} = 0,92 \times 18,67^{0.303} = 2,24 \text{ с} \quad (8)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ рассчитывают по формуле:

$$\tau = \exp[-7,0 \times 10^{-4}(\sqrt{r^2 + H^2} - D_S/2)] = \exp[-7,0 \times 10^{-4}(\sqrt{12^2 + 6,93^2} - 6,93/2)] = 0,99$$

Вычислив все необходимые параметры, найдем интенсивность теплового излучения пожара:

$$q = 450 \times 0,11 \times 0,99 = 49 \text{ кВт/м}^2$$

Доза теплового излучения, воздействующего на людей при этом равна:

$$Q = q \times t_S = 49000 \times 2,24 = 1,3 \times 10^5 \text{ Дж/м}^2 \quad (10)$$

В результате получаем, что за время существования огненного шара (2,24 с) на территории ГРП около 12 м, сотрудники, находившиеся на месте аварии, допустим, во время технического осмотра получают ожоги 1-й степени, т.е. покраснение и отек кожи в месте термического ожога. Возможно появление мелких пузырей с прозрачным содержимым.

Вывод

В результате проделанной работы было проанализировано функционирование опасного производственного объекта ГРП№19 в селе Канавка. Изучены общие рекомендации по минимизации вероятности возникновения ЧС, где основная стратегия снижения риска аварий — регулярное проведение технических осмотров и ремонтных работ.

Составлена вероятностная модель развития ЧС — дерево отказов. По результатам его построения составлены рекомендации по снижению

вероятности возникновения чрезвычайной ситуации.

Выявлены наиболее вероятные события, способные привести к ЧС, и основные источники повышенных динамических нагрузок с обзором устройств для их снижения. Основными методы защиты от вибрации на пути ее распространения являются: виброизоляция, динамическое виброгашение и вибродемпфирование. Для индивидуальной защиты от вибрации используются перчатки, рукавицы, прокладки и вкладыши, защитная обувь и стельки.