

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Оптимизация работы факельных установок на примере
ООО«Тольяттикаучук»

Студент

Липкин А.А.

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Старший преподаватель Ю.Н. Шевченко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

Тема ВКР является актуальной, поскольку потребление энергетических ресурсов имеет положительную динамику, что в свою очередь приводит к дополнительным выбросам горючих газов и паров.

Для снижения негативного эффекта была поставлена цель на примере факельного хозяйства ООО «Тольяттикаучук»: снижение потребления водяного пара, топливного газа на эксплуатацию факельного хозяйства, за счет замены существующего оголовка на более совершенный со струйным затвором, обеспечивающий высокоэффективное бездымное сжигание горючих газов и паров за счет подачи воздуха в факельный оголовок.

Для достижения поставленной цели ВКР был выполнен ряд задач. В ходе работы была рассмотрена существующая факельная установка, её текущее состояние, характеристика, современные требования нормативно-технической документации, предъявляемые к факельной установке. На основании этого было рассмотрено техническое решение по модернизации существующего. Для подтверждения эффективности применяемого решения был проведен сравнительный расчет материального баланса факельных оголовков. Далее были рассмотрены преимущества и недостатки и проведен технико-экономический расчет предлагаемого решения.

Пояснительная записка выполнена на 55 страницах, содержит 14 таблиц, 11 рисунков, 21 источник, 6 из которых – иностранные. В презентации объемом 13 слайдов.

Перечень сокращений и обозначений

АСУ – автоматизированная система управления

ТП – технологический процесс

УФБГ – установка факельная открытая

УФМГ – установка факельная модернизированная

БПГ – блок подготовки газа

ГД – горелка дежурная

ШУР – шкаф управления розжигом

КИП – контрольно-измерительные приборы

ПР – пульт управления розжигом

Содержание

Перечень сокращений и обозначений.....	3
Введение.....	5
1 Описание факельной установки	7
1.1 Характеристика факельной установки.....	7
1.2 Требования к факельной установке	11
1.3 Состояние факельной системы предприятия	13
1.4 Предлагаемые изменения	18
2 Расчет материального баланса сжигания на факельном стволе №2.....	20
2.1 Материальный баланс для существующего факельного оголовка.....	20
2.2 Материальный баланс для проектного факельного оголовка	27
3 Анализ внедрения факельного оголовка	34
3.1 Преимущества и недостатки при внедрении факельного оголовка со струйным затвором	34
3.2 Конструкция внедряемого факельного оголовка.....	36
3.3 Технические характеристики внедряемого факельного оголовка	44
3.4 Принцип работы факельного оголовка со струйным затвором	49
3.5 Техничко-экономический расчет.....	50
Заключение	52
Список используемых источников.....	53

Введение

Большое число заводов и предприятий химической промышленности используют факельные установки. Большинство таких установок используются экономически неэффективно. Факельные установки необходимы для сжигания газовых выбросов, к которым чаще всего относят некондиционные смеси газов. Количество, а также состав газовых выбросов чаще всего отличаются для отдельной факельной установки. На таких предприятиях газовые смеси и пары также сбрасывают в факельную установку, которые не представляется возможным использовать в качестве топлива в печах либо в установках с газовыми котлами.

В последнее время все чаще поднимается вопрос повышения энергосбережения и энергетической эффективности.

«Рост мирового энергопотребления является ключевым фактором, оказывающим влияние на будущий облик этого направления. Наряду с истощением дешевых запасов традиционных углеводородных газов и паров будет наблюдаться активное использование возобновляемых источников энергии, ядерной энергии, создание новых энергосберегающих систем.

К ключевым научно-технологическим трендам, формирующим облик данного приоритетного направления, в первую очередь относятся:

- внедрение энергосберегающих технологий позволит снизить нагрузку на экономику за счет снижения энергоемкости и уменьшения себестоимости продукции, а также обеспечить улучшение экологической ситуации за счет уменьшения выбросов парниковых газов в атмосферу и других вредных загрязнений;

Развитие данного научно-технологического направления позволит удовлетворить растущий спрос на энергоносители в мире, а также ответить на возникающие вызовы в области энергетики: истощение дешевых запасов традиционных углеводородных газов и паров, ужесточение требований к безопасности и экологичности энергетических систем» [1].

На ООО «Тольяттикаучук» сбор и последующее сжигание горючих газов и паров производится с помощью факельных установок (в состав, которого входит: пропан, изобутан, изопентан). Существующий оголовок факельного ствола №2 оснащен лабиринтным затвором и для более полного, бездымного сгорания, сбрасываемых газов и паров предусмотрена подача водяного пара. Данная технология является энергозатратной, поскольку каждый год потребляется более 4 Гкал тепловой энергии пара, а также не экологичной, поскольку происходят выбросы аммиака, монооксида углерода, метана, а также значительные выбросы оксида углерода. В связи с этим в данном проекте, предложено оснащение факельного оголовка со струйным затвором с подачей атмосферного воздуха.

Целью ВКР является снижение затрат на энергетические ресурсы и повышение экологичности при сжигании горючих газов и паров за счет снижения суммарных выбросов аммиака, метана, монооксида и оксида углерода.

Задачи:

1. Обосновать выбор энерго- и ресурсосберегающего процесса факельной установки.
2. Провести расчет материального баланса для выбранной технологии.
3. Предоставить преимущества выбранной технологии.

1 Описание факельной установки

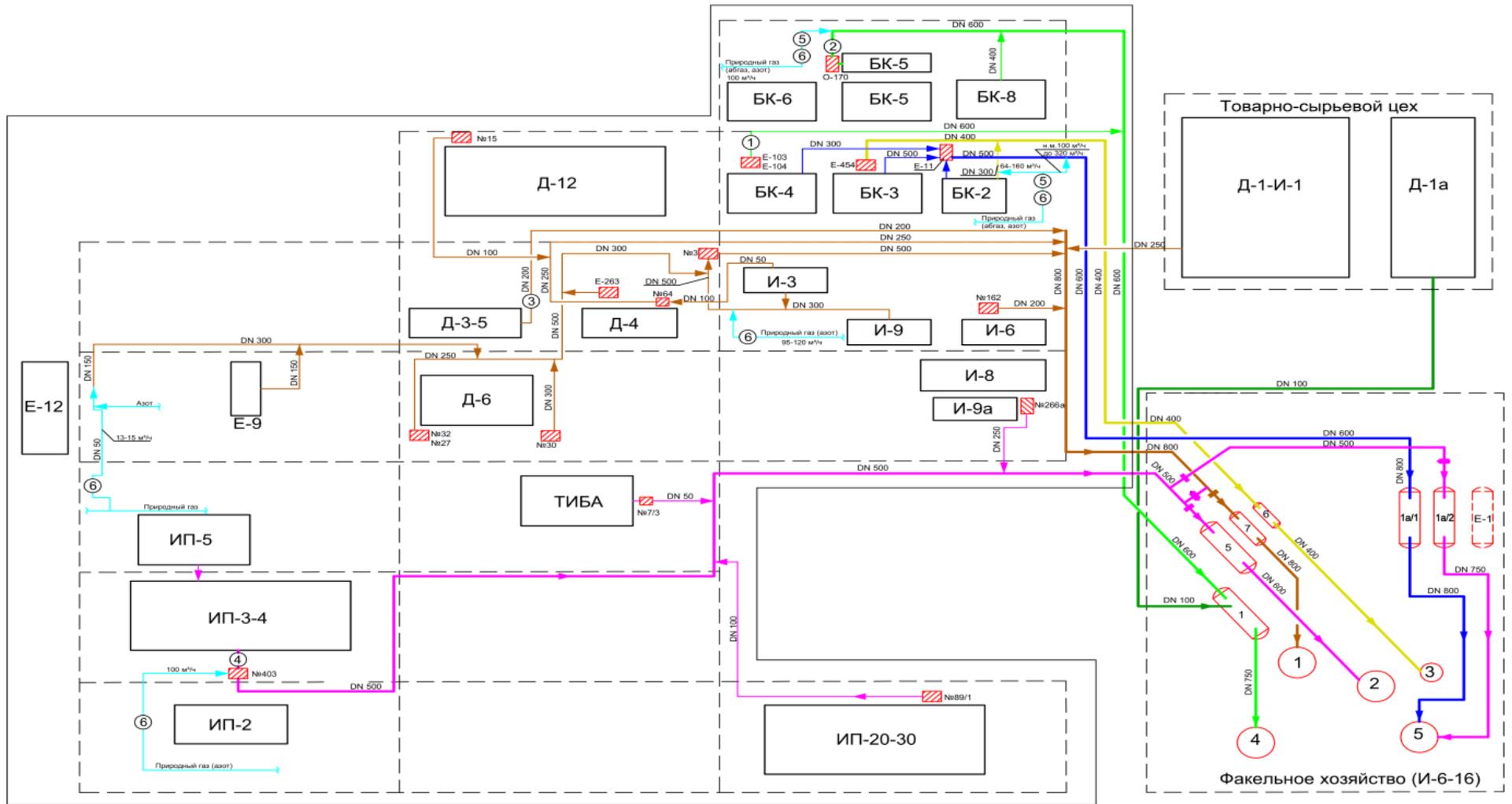
1.1 Характеристика факельной установки

Факельная установка предназначена для сбора и последующего сжигания горючих газов и паров, сбрасываемых технологическими установками в соответствии с существующими требованиями [2] в случаях:

- срабатывания предохранительных клапанов и гидрозатворов;
- ручного аварийного стравливания;
- постоянных сбросов, предусмотренных технологическими регламентами;
- периодических сбросов газов и паров при подготовке к пуску, пуске и останове отдельного оборудования или всей установки;
- аварийного сброса от компрессоров с применением дистанционно управляемой запорной арматуры;
- стравливания газов из отделения Д-1а при сливе продуктов из железнодорожных цистерн с соблюдением требований нормативно-технической документации [3].

Факельная установка состоит из (рисунок 1):

- пяти факельных стволов № 1, 2, 3, 4, 5 (рисунок 2), оснащенных оголовками и лабиринтными уплотнениями (газовыми затворами), дежурными горелками с запальниками;
- факельных коллекторов с огнепреградителями на вводе в факельный ствол (кроме факельных стволов № 3 и № 5) и подводящих трубопроводов природного газа, водяного пара, газозвушной смеси;
- системы дистанционного электрозапального устройства (СЗФ-3VI);
- сепараторов (дриппов), средств контроля и автоматизации;
- горизонтальной подземной ёмкости Е-1 для сбора жидких продуктов из сепараторов с внутренним подогревателем [4].



Условные обозначения:

- коллектор сброса на факел от установок ИП -3,4, ИП-5, ИП-20-30, ТИБА, отд. И-9а
- коллектор сброса на факел от установок Д-3, Д-4, Д-6, И-3-9, И-6, отд. Е-9, Е-12, Д-1-И-1
- коллектор низкого давления сброса на факел от установок БК -2, БК-3, БК-4
- коллектор высокого давления сброса на факел от установок БК -2, БК-3
- коллектор высокого давления сброса на факел от установок БК -4, БК-5, БК-6, БК-8
- коллектор сброса на факел от отд. Д-1а
- линия подачи продувочного газа (природный газ, абгаз, азот) в факельный коллектор
- основные внутриплощадочные факельные сепараторы
- ① ② ③ ④ - линии постоянного сброса в факельный коллектор (№1- уст. БК-4, №2 - уст. БК-5, №3 - уст. Д-3, №4 - уст. ИП-3-4)
- ⑤ ⑥ - линии подачи продувочного газа в факельный коллектор (№5 - абгаз, №6 -природный газ)

Рисунок 1 – Схема сброса в коллектор низкого, высокого давления на ООО «Тольяттикаучук»

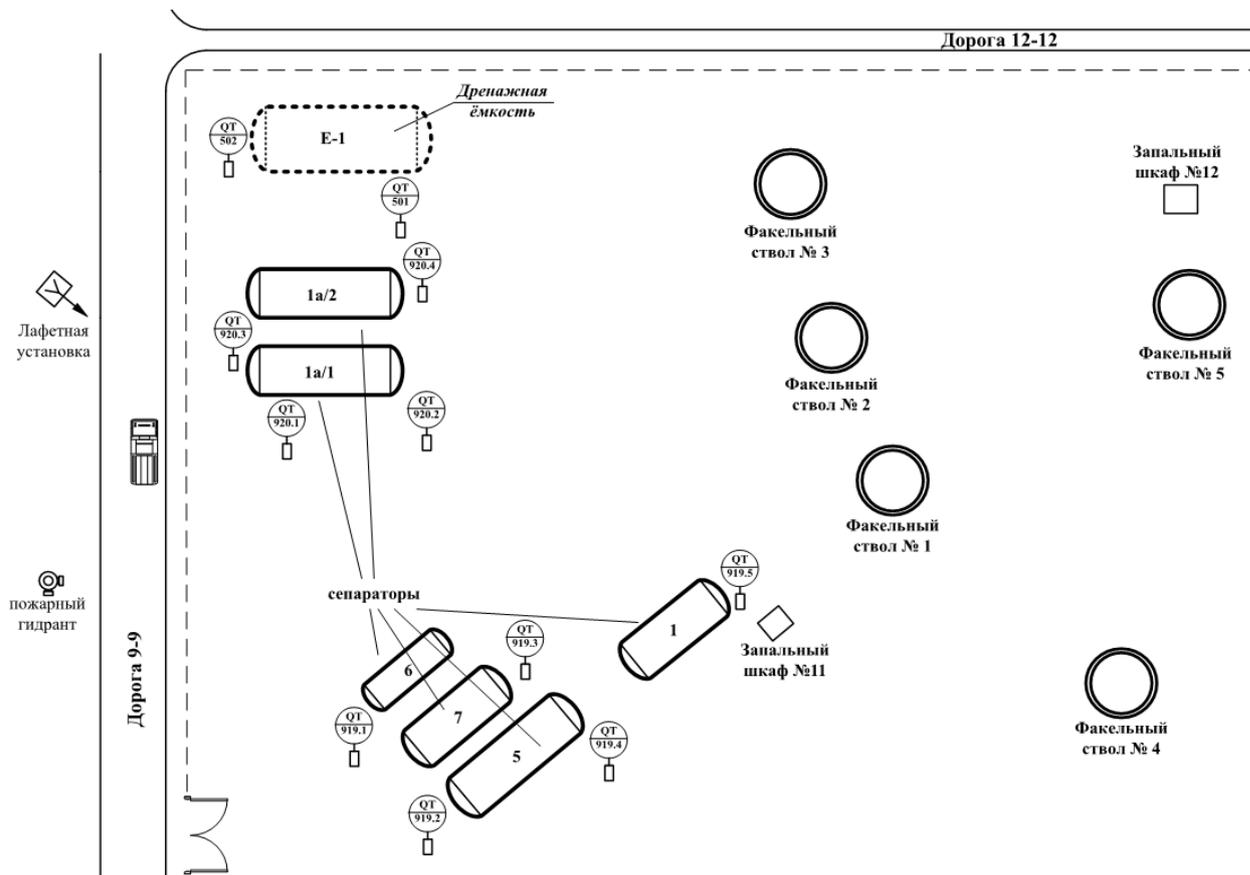


Рисунок 2 – План размещения факельных стволов №1,2,3,4,5

Стравливаемые горючие газы и пары от технологических установок, отделений через сепараторы по факельным коллекторам поступают в факельные стволы, где происходит их сжигание.

Во избежание образования взрывоопасной смеси предусмотрена непрерывная подача продувочного газа (природного или абгаза) в начало факельного коллектора.

В сепараторах происходит отделение капельной жидкости, образующейся в случае уноса или конденсации сбрасываемых на факельный ствол горючих газов и паров, от газа.

После сепараторов стравливаемые газы поступают в нижнюю часть факельного ствола, откуда поднимаются через газовые затворы и сгорают над факельным стволом, поджигаясь от пламени дежурных горелок, расположенных над оголовками факельных стволов.

Газовые затворы на факельных стволах № 1, 2, 3, 4, 5, установленные в верхней части факельного ствола, исключают проникновение воздуха из атмосферы в факельный ствол и в факельный коллектор.

Розжиг дежурных горелок факельного ствола производится с помощью системы дистанционного зажигания факела (СЗФ-3VI), состоящей из запального шкафа, дежурных горелок и контрольной горелки.

Для поддержания постоянного дежурного пламени, обеспечивающего стабильное горение стравливаемых газов и паров, на дежурные горелки факельных стволов № 1, 2, 3, 4, 5 через клапан регулятора давления подаётся природный газ [5].

Примечание - Для стабильного горения дежурных горелок факельного ствола № 3 давление природного газа на дежурные горелки выдерживается не менее $1,5 \text{ кгс/см}^2$.

При получении сообщения о проведении пусковых/остановочных операций от установок, сбрасывающих горючие газы и пары на факельные стволы, увеличить давление природного газа на дежурные горелки ствола № 3 до $2,0 \text{ кгс/см}^2$ [4].

Для более полного и бездымного сгорания сбрасываемых газов и паров предусмотрена подача водяного пара из сети в оголовки факельных стволов.

Подача водяного пара на факельные стволы № 1, 2, 3, 4, 5 регулируется вручную с помощью арматур, исходя из условия обеспечения бездымного сжигания постоянных сбросов.

С целью предотвращения замерзания накопившегося конденсата в кубовой части факельного ствола в зимнее время:

- предусмотрен обогрев нижней части факельного ствола через змеевик водяным паром;
- технологический персонал контролирует состояние факельных коллекторов и огнепреградителей, установленных на трубопроводах факельных коллекторов, на предмет замерзания и, при необходимости, дренирует накопившийся конденсат через

имеющиеся дренажные арматуры, предварительно сняв торцевую глушку с дренажной арматуры, после чего восстановить отглушение.

Легкая часть углеводородного конденсата из сепараторов отпаривается на факел за счет тепла теплофикационной воды, подаваемой в наружные змеевики, которыми снабжены сепараторы.

В дренажной ёмкости E-1 происходит отпаривание лёгких углеводородов из конденсата, за счет тепла теплофикационной воды, подаваемой во внутренний змеевик, встроенный в ёмкость E-1 [4].

1.2 Требования к факельной установке

Факельные установки должны соответствовать специальным требованиям для стабильного технологического процесса, поддержания безопасности на производстве [16], а также снижения влияния на экологию. К таким требованиям относятся: полнота сжигания газов, при условии отсутствия образования дыма и сажи; устойчивость факельной установки при увеличении или уменьшении расхода и состава газов, подвергаемых сбросу; безопасность воспламенения; исключение яркого свечения; отсутствие шума.

Факельные установки могут являться как частью производства, различных цехов, установки, предприятия. Если же являются частью всего предприятия, то необходимо учитывать состав газов, которые сбрасываются в разных цехах. Эти сбросы не должны иметь составы, которые могут взаимодействовать друг с другом и привести к негативным последствиям. Факельные установки могут быть высотные и наземные. Если используется высотная, то факельная горелка находится в верхней части (продукты сгорания отправляются мгновенно в атмосферу), если же наземная, то горелка находится немного выше уровня земли (продукты отправляются в атмосферу проходя дымовую трубу). Тип расположения факельной горелки определяется исходя из токсичности сбрасываемых газов. Те газы, которые даже при низкой концентрации опасны, необходимо сжигать в высотных

установках. В наземных установках горелка смонтирована в чашу с высотой 2м, используется аппаратура контроля состава газа.

Оголовки для бездымных факелов должны устранять дымление с помощью специального расположения потоков сбросного газа и атмосферного воздуха. Бездымное сжигание может быть обеспечено за счет принудительной подачи воздуха, пара и повышения давления сбросного газа, а также за счет использования других средств увеличения турбулентности для лучшего смешения горючего газа с воздухом.

Стабильность сжигания должна быть обеспечена при расходах сбросного газа в диапазоне расходов от нуля до его максимального значения в соответствии с [7] (подраздел 6.1). Бездымность сжигания должна быть обеспечена при постоянных и периодических сбросах, составляющих до ~10% максимального. При использовании вентиляторного воздуха (или пара) эта величина может быть увеличена до 20%. Большие величины сбросов считают аварийными и бездымность сжигания не гарантируют.

В зависимости от состава и давления сбросного газа должна быть выбрана конструкция оголовка.

Все части факела должны быть стойкими к воздействию температуры. Верхняя часть факельного оголовка должна быть изготовлена из жаростойких сплавов по ГОСТ 5632. Допускается изготавливать нижнюю часть оголовка (вместе с соединительным фланцем) из менее качественных марок нержавеющей стали.

Жаропрочные футеровочные материалы используют для оголовков большого диаметра (более 1000 мм) для защиты от внутреннего горения. Материалы должны быть стойкими к высокой температуре и ее резким изменениям. Конструкция футеровки должна обеспечивать:

- стойкость к температурам рабочего диапазона, возможность циклической работы и ее восприимчивость к увлажнению;
- возможность использования различных способов закрепления огнеупора.

Внутренний канал оголовка должен иметь жаропрочную футеровку со специальными креплениями. При проектировании необходимо учитывать последствия разрушения футеровки, в том числе возможность падения в ствол плотного огнеупора и затруднение прохождения потока сбросного газа, падение на землю внешнего огнеупора» [6].

1.3 Состояние факельной системы предприятия

Факельная система предприятия, состоящая из систем сброса на факел действующих производств и факельной установки, предназначена для сбора и последующего сжигания постоянных, периодических и аварийных сбросов горючих газов и паров, сбрасываемых технологическими установками, с целью обеспечения безопасности [17, 18] эксплуатируемого производства.

Блочная схема факельного хозяйства действующих производств ООО «Тольяттикаучук» с указанием диаметров трубопроводов и основных внутриплощадочных сепараторов.

Факельная установка состоит из:

- пяти факельных стволов № 1, 2, 3, 4, 5 (рисунок 3), оснащенных оголовками и лабиринтными уплотнениями (газовыми затворами), дежурными горелками с запальниками;
- факельных коллекторов с огнепреградителями на вводе в факельный ствол (кроме факельного ствола № 3) и подводящих трубопроводов топливного газа, водяного пара, газовой смеси [7];
- системы дистанционного электрозапального устройства (СЗФ-3VI); [7]
- сепараторов (дрипов);
- средств контроля и автоматизации;
- горизонтальной подземной ёмкости Е-1 для сбора жидких продуктов из сепараторов, с внутренним подогревателем.

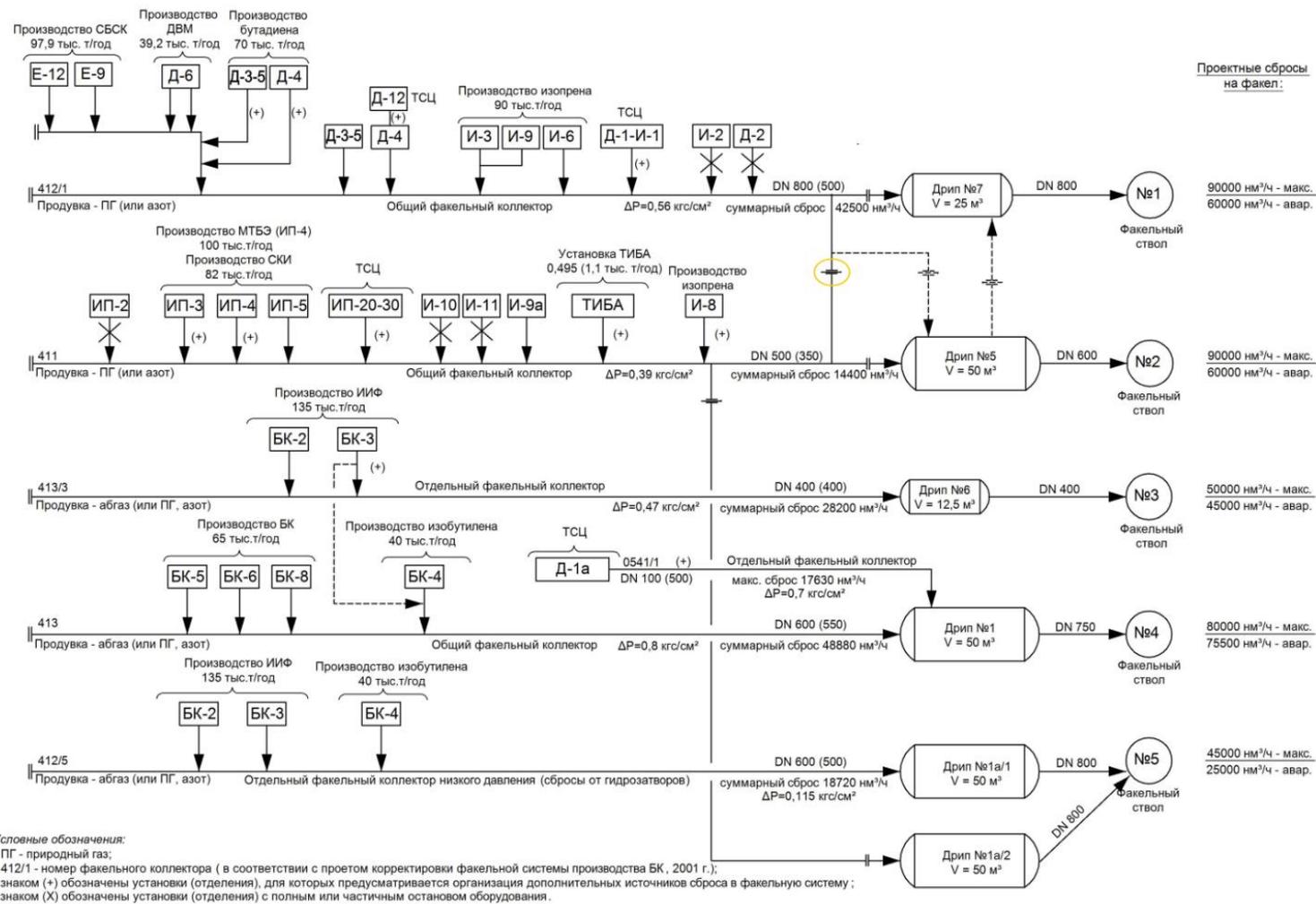


Рисунок 3 – Блок-схема факельного хозяйства ООО «Тольяттикаучук»

Стравливаемые горючие газы и пары от технологических установок, отделений через сепараторы по факельным коллекторам поступают в факельные стволы, где происходит их сжигание.

Факельные стволы № 1-5 представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты, которые установлены на конические металлические опоры, а для придания им большей устойчивости крепятся двухъярусными растяжками. Все стволы имеют металлические днища с целью защиты фундамента факела от действия жидких углеводородов. Расчетное давление составляет $0,1 \text{ кгс/см}^2$, а расчетная температура составляет до 200°C . Материал корпуса факельных установок СтЗсп5, а материал оголовка – 20Х23Н18.

Для обеспечения постоянного горения дежурных горелок в них подается природный газ с параметрами, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры подаваемого природного газа на дежурные горелки

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Давление	кгс/см ²	0,7 - 1,2
Расход газа на одну горелку факельного ствола № 1, 3, 4, 5 при давлении $1,2 \text{ кгс/см}^2$	м ³ /час	9,0
Расход газа на одну горелку факельного ствола № 2 при давлении $0,71 \text{ кгс/см}^2$	м ³ /час	1,25

Продувка трубопроводов газоздушной смеси производится технологическим воздухом с давлением $6,0 \text{ кгс/см}^2$

Обогрев запального шкафа СЗФ-3IV производится паром с параметрами, представленными в таблице.

Таблица 2 – Параметры пара для обогрева шкафа СЗФ-3IV

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Давление пара	кгс/см ²	4 - 6
Расход пара	м ³ /час	10 - 15
Температура пара	°С	150 - 200
Материал горелок на длине двух метров от верха		10X23H18
Колосниковый наконечник		15X23H18Л
Остальные детали		12X18H10Г

Обогрев блока подготовки газа БПГ производится автоматической системой электрообогрева.

Технические характеристики используемых факельных стволов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики факельных стволов

Наименование ствола	Высота, м	Диаметр основания, м	Диаметр выходной, м
Ствол №1	34,0	1,2	0,82
Ствол №2	35,1	1,5	0,9
Ствол №3	34,7	1,2	0,53
Ствол №4	37,0	1,85	0,6
Ствол №5	37,0	2,85	0,8

На факельный ствол № 1 или № 2 (при ремонте ствола №1) через сепаратор № 7 или № 5 производится стравливание углеводородных газов от установок производств:

1) Производство изопрена:

- И-3 «Ректификации возвратного изобутана»;
- И-6 «Получение диметилдиоксана и формальдегида»;
- И-9 «Газоразделение, получение изопрена»;

2) Производство бутадиена и ДВМ:

- Д-3 «Переработка бутилен-бутадиеновой фракции, производство ДВМ»;
- Д-6 «Производство ДВМ, получение пара и горячей технологической воды»;
- Д-4 «Разделение углеводородной экстрактивной дистилляцией».

3) Производство СБСК:

- Е-1 отделение Е-9 «Полимеризация бутадиена и АМС»;
- Е-12 (продувка).

4) Товарно-сырьевой цех (ТСЦ):

- отделение Д-12-13-И-15 (Д-12);
- отделение Д-1-И-1.

На факельный ствол № 2 или № 5 через сепаратор № 1а/2 или № 5 производится стравливание углеводородных газов от установок производств:

1) Производство СКИ:

- ИП-3-4 «Синтез МТБЭ и очистка изопентана-растворителя»;
- ИП-5 «Полимеризация изопрена»;
- ИП-2 (продувка);
- отделение БК-5а установки ТИБА.

2) Производство изопрена: отделение И-9а установки И-8;

3) ТСЦ: отделение ИП-20-30. [2]

Основным компонентом природного газа является метан (70÷98 %). Также в его состав входят в небольших количествах этан, пропан, бутан, водород, азот, углекислый газ, сероводород [8].

Продувку факельных стволов, сепараторов, производят следующие подразделения:

- факельный ствол № 1 или № 2 через сепаратор № 7 или № 5 установки И-8, И-3, Е-2;
- факельный ствол № 3 через сепаратор № 6 установка БК-2;
- факельный ствол № 4 через сепаратор № 1 установка БК-5;

- факельный ствол № 5 через сепаратор № 1а/2 установки И-8, ИП-3;
- факельный ствол № 5 через сепаратор № 1а/1 установка БК-2.

1.4 Предлагаемые изменения

В рамках ВКР реализовать замену факельного оголовка на более совершенный со струйным затвором, обеспечивающий высокоэффективное бездымное сжигание углеводородных газов за счет подачи воздуха в факельный оголовок. Существующий факельный оголовок оснащен лабиринтным затвором и для более полного, бездымного сгорания, сбрасываемых углеводородных газов и паров предусмотрена подача водяного пара. Вышеуказанная характеристика оборудования обусловлена высокой энерго затратностью процесса, является менее экологичным решением [9].

«Оголовки факелов с подачей вспомогательного (дополнительного) воздуха используют в факелах, если требуется обеспечить бездымное горение. При этом вспомогательный воздух подают внутрь оголовка. Таким образом осуществляют предварительное смешение сбросного газа с воздухом. При истечении газовой смеси из оголовка происходит и смешение с атмосферным воздухом. Этот способ необходимо применять при отсутствии источника пара.» [6].

Установить воздуходувку для принудительного подпора воздуха в факельный оголовок. Воздуходувка в совокупности с оголовком позволит обеспечить бездымное горение сбрасываемых углеводородных газов без подачи пара.

«Бездымное сгорание газа достигается особой конструкцией оголовков, обеспечивающей выход газа по круговой щели с высокой скоростью истечения газа. Установленные в щели лопатки обеспечивают турбулентность потока, при этом происходит интенсивное перемешивание газа с окружающим воздухом, что в целом и определяет бездымное сгорание.

Розжиг свечой накаливания, в отличие от высоковольтных систем, безотказен при экстремально низких температурах окружающего воздуха.

Система АСУ УФМГ имеет возможность принимать сигналы с датчиков всего факельного хозяйства (факельных сепараторов, дренажных емкостей), архивирует параметры эксплуатации в режиме кольцевого буфера и в случае какого-либо нарушения режима принимает соответствующие решения (например, при потухании пламени самостоятельно осуществит розжиг, при уменьшении расхода продувочного газа ниже допустимого — подаст сигнал в АСУ ТП необходимости подачи в факельный коллектор инертного газа, при переполнении дренажной емкости — даст сигнал о включении насоса откачки)» [10].

Выводы по первому разделу

В данном разделе рассмотрены основные характеристики существующей факельной установки, требования, предъявляемые к факельным установкам. Проанализировано состояние существующей факельной системы предприятия, а также рассмотрен вопрос соответствия актуальным требованиям. На основании данного анализа было рассмотрено техническое решение по улучшению факельной системы предприятия.

2 Расчет материального баланса сжигания на факельном стволе №2

2.1 Материальный баланс для существующего факельного оголовка

Для расчета материального баланса составим схему (рисунок 4).



Рисунок 4 – Материальный баланс для существующего факельного оголовка

Исходные данные: при процессе сжигания газоотводящих смесей (G_1) за счет природного газа (G_2) и пара (G_3) ($3500\text{ м}^3/\text{ч}$). Природный газ подают с избытком $\alpha=1,1$. Природный газ содержит 90 % метана 3 % этана и 7 % пропана, а также другие вещества (не берём их в расчет), которые указаны в таблице 4. Газовоздушная смесь содержит 40 % изобутана, 35 % изопентана, 15 % пропана, 10 % азота. Реакцию сжигания проводят при $865\text{ }^\circ\text{C}$. При сжигании на выходе происходит распад химических веществ (G_4), в связи сжиганием количества пара уменьшается (G_5).

Реакция данного процесса:

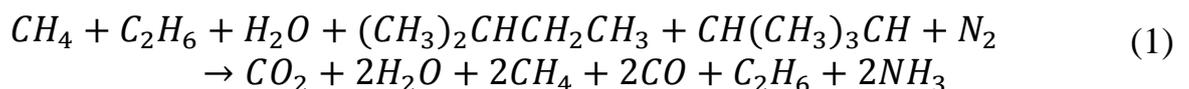


Таблица 4 – Значения молекулярных масс основных веществ, участвующих в сжигании

Вещества, которые входят в факельный ствол	
Вещество	Молярная масса, г/моль
Метан(CH_4)	16
Этан (C_2H_6)	30
Пропан (C_3H_8)	44
Пар (H_2O)	18
Изобутан ($\text{CH}(\text{CH}_3)_3 \text{CH}$)	58
Изопентан ($(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3$)	72
Азот (N_2)	14
Σ	252
Вещества, которые выходят из факельного ствола	
Оксид углерода(CO_2)	44
Монооксид углерода(2CO)	76
Метан (2CH_4)	32
Этан (C_2H_6)	30
Аммиак (2NH_3)	34
Пар ($2\text{H}_2\text{O}$)	36
Σ	252

Таблица 5 – Компонентный состав природного газа

Наименование компонента	%масс	% об.
Водород(H_2)	< 0,005	< 0,005
Кислород	0,23	0,12
Азот	1,97	1,18
Метан	90,65	95,52
Этан	3,13	1,76
CO_2	0,37	0,15
Пропан	2,44	0,94
i- C_4H_{10}	0,50	0,14
n- C_4H_{10}	0,49	0,14

Продолжение таблицы 5

Наименование компонента	%масс	% об.
ΣC_4H_8	0,13	0,03
Пентаны	0,09	0,02
Итого	100	100

Сжигание газозовоздушной смеси в сутки = 72000 м³/сутки

Подача природного газа в сутки=3000 м³/сутки

Подача пара на факел в сутки=84000 м³/сутки

Время работы оборудования в сутках: 24 часа.

Расчет материального баланса производится по следующим формулам:

Расчет среднечасовой подачи смеси:

$$G_{\text{ср.ч}} = G_{\text{пл}} \div t_r, \quad (2)$$

где $G_{\text{пл}}$ – среднесуточная подача смеси, м³/сут;

t_r – время работы оборудования в течение суток, ч.

Расчет массы смеси в течение часа:

$$m = (V \cdot \mu) \div 22,4, \quad (3)$$

где μ – молярная масса газа, моль;

V – объем смеси в течение часа, м³/ч, вычисляемый по формуле:

$$V = G_{\text{ср.ч}} \cdot (x \div 100\%), \quad (4)$$

где x – объемная доля компонента смеси.

1) Среднечасовая подача сжигаемой смеси на факел вычисляется по формуле (2):

$$G_{\text{ср.ч}} = 72000 \div 24 = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2) Среднечасовая подача природного газа на факел вычисляется по формуле (2):

$$G_{\text{ср.ч}} = 3000 \div 24 = 125 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3) Среднечасовая подача пара на факел вычисляется по формуле (2):

$$G_{\text{ср.ч}} = 84000 \div 24 = 3500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4) Рассчитаем массу изобутана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовойоздушной смеси:

$$m_{(\text{CH}(\text{CH}_3)_3\text{CH})} = (1200 \cdot 58) \div 22,4 = 3107 \text{ кг/ч}$$

$$V_{(\text{CH}(\text{CH}_3)_3\text{CH})} = 3000 \cdot 0,4 = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$$

5) Рассчитаем массу изопентана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовойоздушной смеси:

$$m_{(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3} = (1050 \cdot 72) \div 22,4 = 3375 \text{ кг/ч}$$

$$V_{(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3} = 3000 \cdot 0,35 = 1050 \text{ м}^3/\text{ч}$$

6) Рассчитаем массу пропана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовойоздушной смеси:

$$m_{\text{C}_3\text{H}_8} = (450 \cdot 44) \div 22,4 = 883 \text{ кг/ч}$$

$$V_{\text{C}_3\text{H}_8} = 3000 \cdot 0,15 = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$$

7) Рассчитаем массу азота по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовойоздушной смеси:

$$m_{N_2} = (300 \cdot 14) \div 22,4 = 187,5 \text{ кг/ч}$$

$$V_{N_2} = 3000 \cdot 0,10 = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$$

8) Рассчитаем массу метана по формуле (3) и его объем по формуле (4), подаваемого на факел, содержащийся в природном газе:

$$m_{CH_4} = (112,5 \cdot 16) \div 22,4 = 80,3 \text{ кг/ч}$$

$$V_{CH_4} = 125 \cdot 0,9 = 112,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

9) Рассчитаем массу этана по формуле (3) и его объем по формуле (4), подаваемого на факел, содержащийся в природном газе:

$$m_{C_2H_6} = (3,75 \cdot 30) \div 22,4 = 0,5 \text{ кг/ч}$$

$$V_{C_2H_6} = 125 \cdot 0,03 = 3,75 \text{ м}^3/\text{ч}$$

10) Рассчитаем массу пропана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в природном газе:

$$m_{C_3H_8} = (8,75 \cdot 44) \div 22,4 = 17,18 \text{ кг/ч}$$

$$V_{C_3H_8} = 125 \cdot 0,07 = 8,75 \text{ м}^3/\text{ч}$$

11) Рассчитаем массу пара по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел.

$$m_{H_2O} = (3500 \cdot 18) \div 22,4 = 2812,5 \text{ кг/ч}$$

$$V_{H_2O} = 3500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

12) Рассчитаем массу метана по формуле (3) и его объем по формуле (4), который не прореагировал в природном газе:

$$V_{CH_4} = 112,5 \cdot 1,1 = 123,75 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{CH_4 \text{ не прореаг}} = 123,75 - 112,5 = 11,25 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{CH_4 \text{ не прореаг}} = (11,25 \cdot 32) \div 22,4 = 16,1 \text{ кг/ч}$$

13) Рассчитаем массу этана по формуле (3) и его объем по формуле (4), который не прореагировал в природном газе:

$$V_{C_2H_6} = 3,75 \cdot 1,1 = 4,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{C_2H_6 \text{ не прореаг}} = 4,4 - 3,75 = 0,65 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{C_2H_6 \text{ не прореаг}} = (0,65 \cdot 30) \div 22,4 = 0,8 \text{ кг/ч}$$

14) Рассчитаем массу пропана по формуле (3) и его объем по формуле (4), который не прореагировал в природном газе:

$$V_{C_3H_8} = 8,75 \cdot 1,1 = 9,625 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{C_3H_8 \text{ не прореаг}} = 9,625 - 8,75 = 0,875 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{C_3H_8 \text{ не прореаг}} = (0,875 \cdot 44) \div 22,4 = 1,72 \text{ кг/ч}$$

15) Рассчитаем образовавшуюся массу монооксида углерода по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$m_{2CO} = 3375 \cdot (58 \div 76) = 2575 \text{ кг/ч}$$

$$V_{2CO} = 2575 \cdot (22,4 \div 76) = 759 \text{ м}^3/\text{ч}$$

16) Рассчитаем образовавшуюся массу оксида углерода по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$m_{CO_2} = 3375 \cdot (72 \div 44) = 5522 \text{ кг/ч}$$

$$V_{CO_2} = 5522 \cdot (22.4 \div 44) = 2811.2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

17) Рассчитаем образовавшуюся массу аммиака по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$m_{2NH_3} = 300 \cdot (14 \div 34) = 123,5 \text{ кг/ч}$$

$$V_{2NH_3} = 123,5 \cdot (22,4 \div 34) = 81,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

18) Рассчитаем образовавшуюся массу водяного пара на выходе из факельного ствола по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$m_{2H_2O} = 2812 \cdot (18 \div 36) = 1406 \text{ кг/ч}$$

$$V_{2H_2O} = 1406 \cdot (22,4 \div 36) = 875 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Полученные значения занесем в таблицу 6.

Таблица 6 – Расход-приход

Вещество	Приход			Расход		
	кг/ч	м ³	%	кг/ч	м ³	%
Метан	80,3	112,5	0,83	16,1	11,25	0,17
Этан	0,5	3,75	0,005	0,8	0,65	0,0010
Пропан	17,18	8,75	0,25	1,72	0,875	0,02
Изобутан	3107	1200	32,4	-	-	
Изопентан	3375	1050	35,2	-	-	
Азот	187,5	300	2,02	-	-	
Пар	2812,5	3500	29,3	1406	875	14,6
Оксид углерода	-	-		5522	2811,2	57,2
Монооксид углерода	-	-		2575	759	26,7
Аммиак	-	-		123,5	81,4	1,3
Итого	9580	6175	100	9645,12	4539,4	100

Объём смеси при сжигании составляет 17% и образование распада на другие вещества.

2.2 Материальный баланс для проектного факельного оголовка

Для расчета материального баланса составим схему (рисунок 5).



Рисунок 5 – Схема материального баланса для проектного факельного оголовка

В связи с тем, что, мы заменяем факельный оголовок УФБГ-900(1500)-35,1 ППВ на ствол №2, и вместо пара мы подаем воздух, необходимое кол-во воздуха (G_3) для сжигания составляет $52000\text{м}^3/\text{ч}$.

Исходные данные: при процессе сжигания газоотводящих смесей (G_2) за счет природного газа (G_1) и воздуха. Природный газ подают с избытком $\alpha=1,1$. Природный газ содержит 90 % метана, 3 % этана и 7 % пропана, а также другие вещества (не берём их в расчет), которые указаны в таблице 7. Газовоздушная смесь содержит 40 % изобутана, 35 % изопентана, 15 % пропана, 10 % азота. Реакцию сжигания проводят при $865\text{ }^\circ\text{C}$. За счет замены пара на воздух, на выходе мы имеем только газовоздушную смесь (G_4) без содержания влаги.

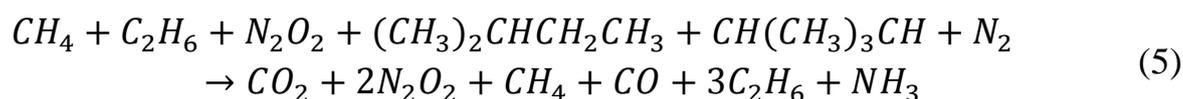


Таблица 7 – Молекулярные массы основных веществ, участвующих в сжигании

Вещества, которые входят в факельный ствол	
Вещество	Молярная масса, г/моль
Метан (CH ₄)	16
Этан (C ₂ H ₆)	30
Пропан (C ₃ H ₈)	44
Воздух(N ₂ O ₂)	29
Изобутан (CH(CH ₃) ₃ CH)	58
Изопентан ((CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₃)	72
Азот (N ₂)	14
Σ	263
Вещества, которые выходят из факельного ствола	
Оксид углерода(CO ₂)	44
Монооксид углерода(CO)	38
Метан (CH ₄)	16
Этан (3C ₂ H ₆)	90
Аммиак (NH ₃)	17
Воздух(2N ₂ O ₂)	58
Σ	263

Сжигание газовоздушной смеси в сутки = 72000 м³/сутки

Подача природного газа в сутки=485м³/сутки.

Время работы оборудования в сутках: 24 часа.

Расчёт материального баланса:

1) Среднечасовая подача сжигаемой смеси на факел вычисляется по формуле (2):

$$G_{\text{ср.ч}} = 72000 \div 24 = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2) Среднечасовая подача природного газа на факел вычисляется по формуле (2):

$$G_{\text{ср.ч}} = 485 \div 24 = 20,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3) Среднечасовая подача воздуха на факел вычисляется по формуле (2):

$$G_{\text{ср.ч}} = 52000 \div 24 = 2167 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4) Рассчитаем массу изобутана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовой смеси:

$$m_{(\text{CH}(\text{CH}_3)_3\text{CH})} = (1200 \cdot 58) \div 22,4 = 3107 \text{ кг/ч}$$

$$V_{(\text{CH}(\text{CH}_3)_3\text{CH})} = 3000 \cdot 0,4 = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$$

5) Рассчитаем массу изопентана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовой смеси:

$$m_{(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3} = (1050 \cdot 72) \div 22,4 = 3375 \text{ кг/ч}$$

$$V_{(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3} = 3000 \cdot 0,35 = 1050 \text{ м}^3/\text{ч}$$

6) Рассчитаем массу пропана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовой смеси:

$$m_{\text{C}_3\text{H}_8} = (450 \cdot 44) \div 22,4 = 883 \text{ кг/ч}$$

$$V_{\text{C}_3\text{H}_8} = 3000 \cdot 0,15 = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$$

7) Рассчитаем массу азота по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в газовой смеси:

$$m_{\text{N}_2} = (300 \cdot 14) \div 22,4 = 187,5 \text{ кг/ч}$$

$$V_{\text{N}_2} = 3000 \cdot 0,10 = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$$

8) Рассчитаем массу метана по формуле (3) и его объем по формуле (4), подаваемого на факел, содержащийся в природном газе:

$$m_{CH_4} = (18,18 \cdot 16) \div 22,4 = 13 \text{ кг/ч}$$

$$V_{CH_4} = 20,2 \cdot 0,9 = 18,18 \text{ м}^3/\text{ч}$$

9) Рассчитаем массу этана по формуле (3) и его объем по формуле (4), подаваемого на факел, содержащийся в природном газе:

$$m_{C_2H_6} = (0,606 \cdot 30) \div 22,4 = 0,81 \text{ кг/ч}$$

$$V_{C_2H_6} = 20,2 \cdot 0,3 = 0,606 \text{ м}^3/\text{ч}$$

10) Рассчитаем массу пропана по формуле (3) и его объем по формуле (4) подаваемого на факел, содержащийся в природном газе:

$$m_{C_3H_8} = (1,414 \cdot 44) \div 22,4 = 2,78 \text{ кг/ч}$$

$$V_{C_3H_8} = 20,2 \cdot 0,07 = 1,414 \text{ м}^3/\text{ч}$$

11) Рассчитаем массу подаваемого на факел воздуха по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$m_{N_2O_2} = (2167 \cdot 29) \div 22,4 = 2805 \text{ кг/ч}$$

$$V_{N_2O_2} = 2167 \text{ м}^3/\text{ч}$$

12) Рассчитаем массу метана по формуле (3) и его объем по формуле (4), который не прореагировал в природном газе:

$$V_{CH_4} = 18,18 \cdot 1,1 = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{CH_4 \text{ не прореаг}} = 20 - 18,18 = 1,82 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{CH_4 \text{ не прореаг}} = (1,82 \cdot 16) \div 22,4 = 1,3 \text{ кг/ч}$$

13) Рассчитаем массу этана по формуле (3) и его объем по формуле (4), который не прореагировал в природном газе:

$$\begin{aligned}V_{\text{C}_2\text{H}_6} &= 0,606 \cdot 1,1 = 0,6666 \text{ м}^3/\text{ч} \\V_{\text{C}_2\text{H}_6 \text{ не прореаг}} &= 0,6666 - 0,606 = 0,0606 \text{ м}^3/\text{ч} \\m_{\text{C}_2\text{H}_6 \text{ не прореаг}} &= (0,606 \cdot 90) \div 22,4 = 0,24 \text{ кг/ч}\end{aligned}$$

14) Рассчитаем массу пропана по формуле (3) и его объем по формуле (4), который не прореагировал в природном газе:

$$\begin{aligned}V_{\text{C}_3\text{H}_8} &= 1,414 \cdot 1,1 = 1,5554 \text{ м}^3/\text{ч} \\V_{\text{C}_3\text{H}_8 \text{ не прореаг}} &= 1,5554 - 1,414 = 0,1414 \text{ м}^3/\text{ч} \\m_{\text{C}_3\text{H}_8 \text{ не прореаг}} &= (0,1414 \cdot 56) \div 22,4 = 0,3535 \text{ кг/ч}\end{aligned}$$

15) Рассчитаем образовавшуюся массу монооксида углерода по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$\begin{aligned}m_{\text{CO}} &= 3375 \cdot (58 \div 38) = 2575 \text{ кг/ч} \\V_{\text{CO}} &= 2575 \cdot (22,4 \div 76) = 759 \text{ м}^3/\text{ч}\end{aligned}$$

16) Рассчитаем образовавшуюся массу оксида углерода по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$\begin{aligned}m_{\text{CO}_2} &= 3375 \cdot (72 \div 44) = 4122 \text{ кг/ч} \\V_{\text{CO}_2} &= 4122 \cdot (22,4 \div 44) = 2098 \text{ м}^3/\text{ч}\end{aligned}$$

17) Рассчитаем образовавшуюся массу аммиака по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$m_{\text{NH}_3} = 300 \cdot (14 \div 17) = 247 \text{ кг/ч}$$

$$V_{\text{NH}_3} = 123,5 \cdot (22,4 \div 17) = 325 \text{ м}^3/\text{ч}$$

18) Рассчитаем образовавшуюся массу воздуха на выходе из факельного ствола по формуле (3) и его объем по формуле (4):

$$m_{2\text{N}_2\text{O}_2} = 2805 \cdot (29 \div 56) = 1452 \text{ кг/ч}$$

$$V_{2\text{N}_2\text{O}_2} = 1452 \cdot (22,4 \div 56) = 581 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Полученные значения занесли в таблицу 8.

Таблица 8 – Расход-приход

Вещество	Приход			Расход		
	кг/ч	м ³	%	кг/ч	м ³	%
Метан	13	18,18	0,14	1,3	1,82	0,015
Этан	0,81	0,606	0,008	0,24	0,0606	0,002
Пропан	2,78	1,414	0,3	0,3535	0,1414	0,004
Изобутан	3107	1200	32,8	-	-	
Изопентан	3375	1050	35,5	-	-	
Азот	187,5	300	1,98	-	-	
Воздух	2805	2167	29,5	1452	581	17,3
Оксид углерода	-	-		4122	2098	49,1
Монооксид углерода	-	-		2575	759	30,7
Аммиак	-	-		247	325	2,9
Итого	9491,09	4737,2	100	8397,89	3765,02	100

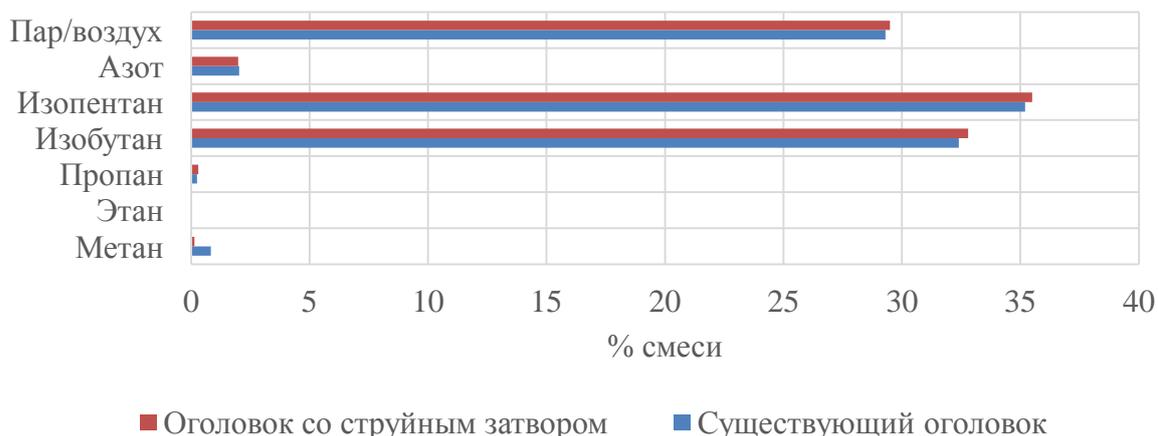


Рисунок 6 – Приходящие составляющие смеси

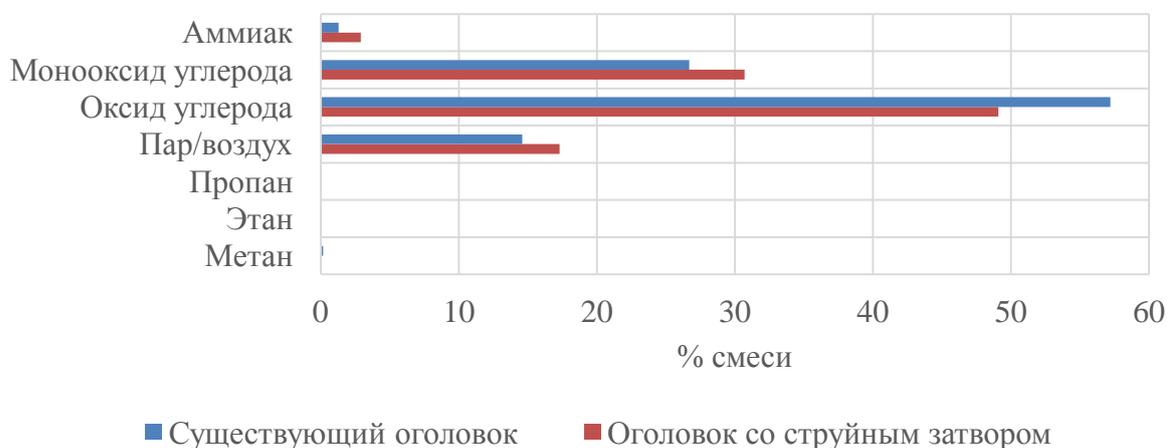


Рисунок 7 – Расход составляющих смеси

Объём смеси при сжигании составляет 17% и образование распада на другие вещества.

Выводы по второму разделу

Следует отметить, что при подаче воздуха подается меньше природного газа, за счет чего происходит более качественное горение и пониженное потребление природного газа. Также данный процесс горения происходит в условиях отсутствия пара, что способствует экономии энергоносителя, что положительно сказывается в последствии на денежных затратах.

3 Анализ внедрения факельного оголовка

3.1 Преимущества и недостатки при внедрении факельного оголовка со струйным затвором

В настоящий момент в факельном хозяйстве ТПП реализовано бездымное сжигание с подачей пара в оголовок факельного ствола. При замене пара на воздух для обеспечения бездымности экономия в первую очередь будет достигаться за счет снижения затрат на расход пара. Кроме того, устраняется необходимость эксплуатации паропроводов, их изоляции и дренирования конденсата.

Дополнительным оборудованием для реализации бездымного сжигания за счет подачи воздуха в оголовок будет воздуходувка, устанавливаемая непосредственно у основания факельного ствола [11].

При выборе метода и схемы сжигания учитывались следующие факторы:

- уменьшить расход водяного пара на факельном хозяйстве;
- уменьшить расход потребления природного газа;
- степень извлечения этилена;
- обеспечить высокоэффективное бездымное сжигание.

Основной целью реализации предлагаемого проекта является снижение потребления водяного пара, топливного газа на эксплуатацию факельного хозяйства ТПП, за счет замен существующего оголовка на более совершенный - со струйным затвором, обеспечивающий высокоэффективное бездымное сжигание углеводородных газов за счет подачи воздуха в факельный оголовок.

При выборе оборудования учитывались следующие параметры:

- исключение подачи пара на обогрев оголовка;
- максимально низкий расход продувочного газа (азота) в начало факельного коллектора;

- максимально высокую защиту термопар дежурных горелок от термических разрушений;
- простоту конструкции, розжига и контроля эффективности пламени;
- возможность замены термопары без останова факела; предусмотреть двойную систему розжига дежурных горелок: розжиг от высокоэнергичной свечи и розжиг «бегущим» огнем.
- оборудование должно быть устойчиво к климатическим воздействиям в месте установки, детали приборов, соприкасающиеся с измеряемой средой, должны быть устойчивы к этой среде.

Исходя из итогов составим таблицу используемого оборудования, укажем какие функции будет выполнять данное оборудование

Таблица 9 – Применяемое оборудование

Наименование оборудования	Назначение
Факельный оголовок УФБГ-900(1500)-35,1 ППВ	Сжигание горючих газов и паров при постоянных, периодических и аварийных сбросах с производств СБСК, СКИ, Изопрена
Блоком подготовки газа	Подготовка «бегущего огня» для розжига дежурных горелок факельного оголовка
Воздуходувки (2 шт) с ЧРП	Подача воздуха в факельный оголовок для бездымного сгорания углеводородных газов
Блок управления	Управление факельным оголовком (регулирование расхода воздуха на оголовок, контроль наличия пламени на дежурных горелках, автоматический и ручной режим розжига дежурных горелок, регулирование расхода топливного газа на дежурные горелки)

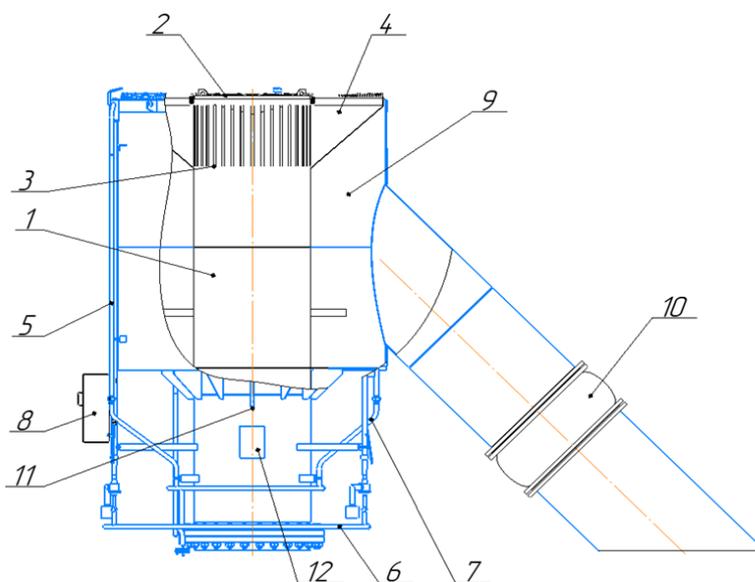
Основная сложность, которая может возникнуть при внедрении данной технологии следующая: большая часть технологического оборудования

будет монтироваться в условиях действующего производства, т.е. будут вестись огневые и монтажные работы на действующей установке.

Решение данной проблемы следующее: для того, чтобы снизить негативный эффект данной проблемы необходима разработка проекта производства работ, который будет учитывать режимы работы и технологические особенности работы данной установки.

3.2 Конструкция внедряемого факельного оголовка

На рисунке 8 представим схему конструкции проектного факельного оголовка с принудительной подачей воздуха.



1 – внутренний ствол оголовка; 2 – огнеупорный защитный слой; 3 – затвор струйный; 4 – завихрители; 5 – горелка дежурная розжига; 6 – распределитель топливного газа; 7 – распределитель «бегущего огня»; 8 – источник высокого напряжения; 9 – наружный воздуховод; 10 – компенсатор; 11 – датчик контроля пламени; 12 – распределительная коробка термопар.

Рисунок 8 – Оголовок с принудительной подачей воздуха

УФБГ состоит из следующих основных узлов:

- оголовок факельный (УФБГ);
- горелка дежурная (ГД);

- блок подготовки газа (БПГ);
- пульт управления розжигом (ПР)-

Основным узлом оголовка (рисунок 8) является ствол (1), представляющий собой сварную конструкцию из цилиндрических обечаек из легированной стали, по которому вверх поступает сжигаемый газ.

Оголовок состоит из наружного воздуховода (9) и внутреннего ствола оголовка (1). Наружная труба (воздуховод) служит для подачи потока воздуха. Внутренняя труба служит для подачи газа на сжигание. Ствол сверху закрыт огнеупорным защитным слоем (2).

В верхней части ствола расположен струйный затвор (3), играющий роль ограничителя движения воздуха вниз по оголовку, благодаря чему значительно снижается расход продувочного газа. Вверху струйного затвора размещены завихрители (4), которые препятствуют проскоку пламени внутрь ствола оголовка, а также с их помощью достигается стабильное и непрерывное горение сжигаемого газа при неблагоприятных погодных условиях.

В нижней части внутреннего ствола предусмотрен фланец для соединения со стволом установки факельной.

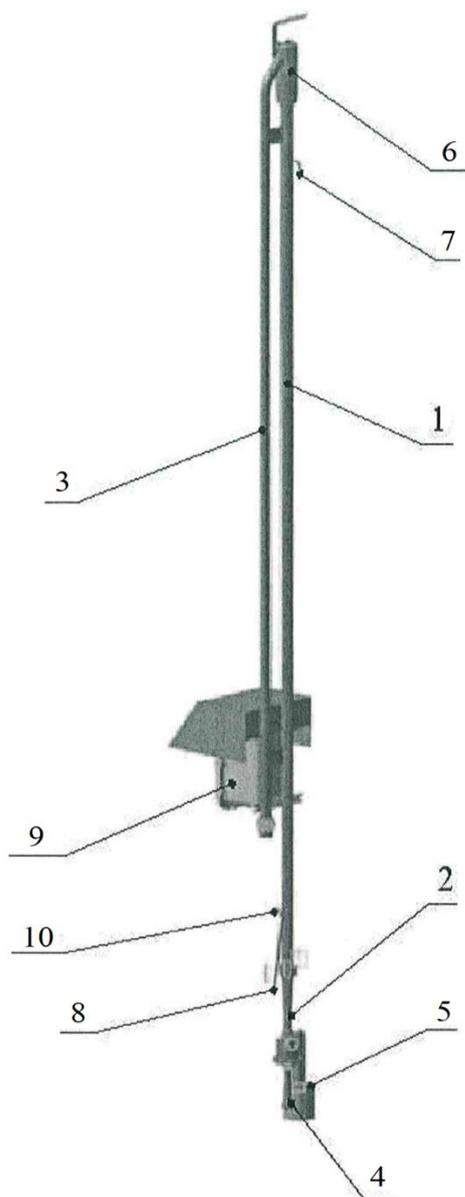
Для обеспечения свободного хода ствола для сжигания газа и воздуховода в конструкции предусмотрен компенсатор (10), установленный на воздуховоде. Воздуховод опирается на фундамент.

Горелка дежурная (5) крепится к оголовку кронштейнами, предусмотренными в его конструкции. Для подвода газа к горелке предусмотрены распределитель топливного газа (6) и «бегущего огня» (7) с фланцевыми соединениями, к которым непосредственно привариваются трубопроводы подачи пилотного газа и «бегущего огня», входящие в состав изделия.

Горелки дежурные закреплены на обечайке внешней оголовка.

Горелка дежурная инжекционная нормальной тепловой мощности, с системой двойного розжига (электроискровой и «бегущим огнем») и

системой контроля пламени при помощи термопары, предназначена для розжига сбрасываемого газа и поддержания горения основного факела собственным пламенем и состоит из корпуса, патрубка для приготовления горючей смеси и герметичного кожуха.



1 – ствол (корпус); 2 – труба Вентури; 3 – труба розжига; 4 – гайка соединительная; 5 – воздухозаборник; 6 – экран ветрозащитный; 7 – крючок; 8 – термопара (ввод в горелку); 9 – блок розжига; 10 – свеча розжига.

Рисунок 9 – Горелка дежурная инжекционная двойного розжига

Горелка дежурная инжекционная двойного розжига (рисунок 9) входит в состав системы розжига:

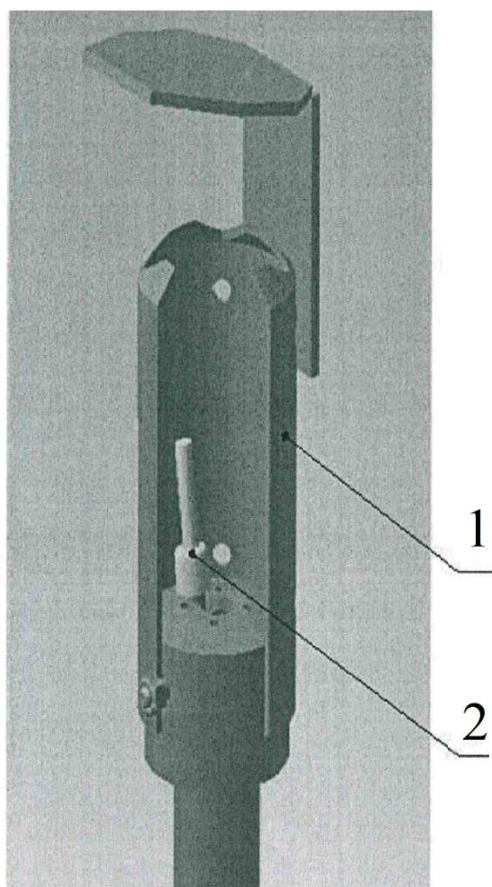
- электроискровой розжиг – выполняется в автоматическом и (или) ручном режимах. Воспламенение топливного газа осуществляется искрой от свечи, подключенной к источнику высокого напряжения в блоке розжига, расположенного непосредственно на горелке, с помощью сигнала с панели управления розжигом;
- воспламенение топливного газа осуществляется от источника его образования, расположенного в блоке подготовки газа – «бегущий огонь».

Топливный газ с давлением $0,71 \text{ кгс/см}^2$ по трубопроводу газа поступает на горелку, далее через сопло, внутрь камеры трубы Вентури (2).

Через устройство регулирования подачи воздуха – воздухозаборник - происходит забор воздуха из атмосферы, который смешивается с топливным газом в камере трубы Вентури. Воздухозаборник придает дежурной горелке максимальную стабильность горения газа.

В случае электроискрового розжига полученная газоздушная смесь, двигаясь по каналу ствола, поджигается при помощи свечи розжига. Воспламенение осуществляется искрой, исходящей из блока розжига, расположенного непосредственно на горелке, с помощью сигнала панели управления.

В случае применения «бегущего огня» полученная газоздушная смесь, двигаясь по каналу ствола, поджигается им («бегущим огнем») непосредственно на выходе из трубы розжига.



1 – экран ветрозащитный; 2 – колпак термопары.

Рисунок 10 – Конструкция верхней части горелки с системой контроля пламени с помощью термопары

Далее воспламененная газовоздушная смесь выходит в атмосферу, образуя факел пламени для розжига газа, сбрасываемого на факельную установку. Экран ветрозащитный предназначен для защиты пламени от осадков и задувания ветром (рисунок 10). В рабочем режиме пламя на горелке постоянное.

Наличие пламени контролируется термопарой поз. 3.2.1 (3.2.2 и 3.2.3) и при отсутствии пламени на пульт управления поступает сигнал. Термопара поз. 3.2.1 (3.2.2 и 3.2.3) находится под защитным колпаком.

Для регулирования подачи воздуха в трубу Вентури (рисунок 9) горелки предусмотрен винт. Его настройки устанавливаются на заводе-изготовителе под конкретные параметры применяемого газа.

Внутри трубы Вентури на патрубке подачи установлен сетчатый фильтр, предотвращающий попадание загрязняющих частиц в сопло горелки.

Контроль наличия пламени на ГД осуществляется с помощью термопар поз. 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, установленных на ГД (рисунок 9) - при отсутствии пламени на пульт управления поступает сигнал, будет моргать лампа «Авария горелок».

БПГ установлен на открытой площадке и предназначен для ручного регулирования давления топливного газа и подготовки «бегущего огня».

БПГ является мобильным блоком контейнерного типа. Представляет собой обогреваемый пункт, внутри которого смонтирована трубопроводная обвязка, состоящая из фильтров, кранов шаровых, клапанов электромагнитных, регуляторов давления, системы обогрева, манометров показывающих сигнализирующих и показывающих, Пульта управления розжигом и блока розжига (генератора «бегущего огня»).

Клапаны, установленные на линиях топливного газа и сжатого воздуха, расположенные в БПГ, служат для подачи (отсечки) топливного газа и (или) воздуха.

Манометры выдают сигналы наличия (отсутствия) необходимого давления топливного газа или воздуха на линии его подачи на входе и выходе в БПГ соответственно.

ПР предназначен для местного управления работой установкой факельной, а также розжигом дежурных горелок. ПР представляет собой шкаф с необходимым набором пускозащитной аппаратуры, средств автоматизации и элементов индикации и управления, расположенных на передней двери пульта.

ПР обеспечивает прием сигналов от приборов КИП, их обработку по заданному алгоритму и выдачу управляющих сигналов на исполнительные механизмы по заданному алгоритму.

Бездымное сжигание углеводородных газов обеспечивается за счет подачи воздуха в факельный оголовок вентиляторами поз. 5.1, 5.2, расположенными непосредственно у основания факельного ствола № 2. Управление вентиляторами (пуск, останов, регулирование расхода воздуха на оголовок) осуществляется с ШУР, расположенного в операторной факельной установки. Кроме того, существует возможность пуска и останова вентиляторов при помощи пусковой аппаратуры, которая находится у основания факельного ствола № 2 (рисунок 11).

Вентиляторы установлены на рамы, закрепленные на фундаменте. Всасывающие отверстия вентиляторов оснащены защитными устройствами (жалюзи), исключающими травмирование персонала и попадание посторонних предметов в вентиляторы.

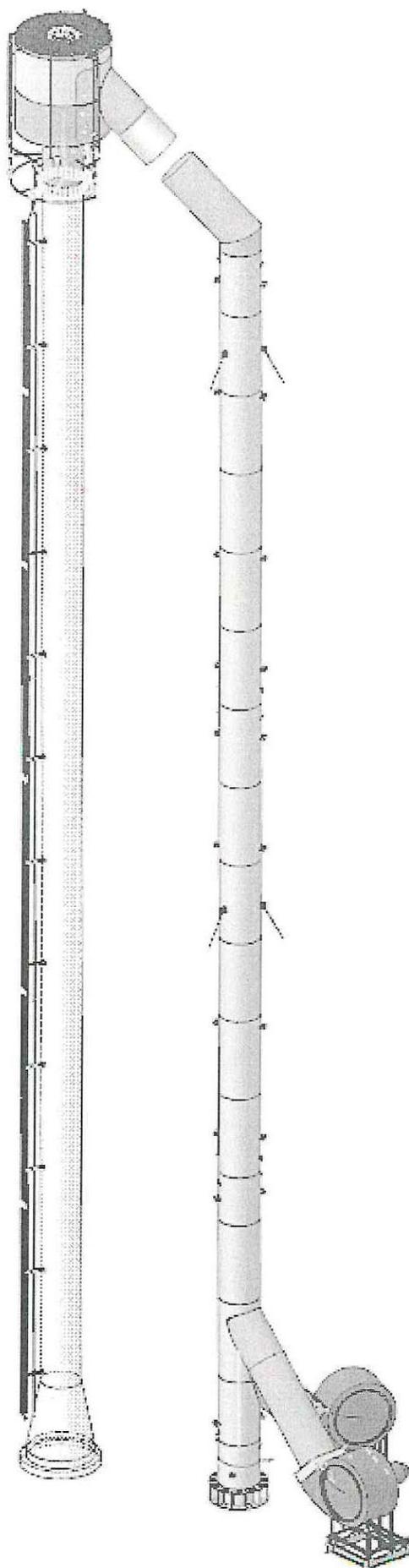


Рисунок 11 – Схема факельной установки с оголовком со струйным затвором

3.3 Технические характеристики внедряемого факельного оголовка

Факельный оголовок состоит из следующих основных узлов:

- оголовок факельный (в количестве 1 шт. конструкция с использованием таких материалов как: 10Х23Н18, 12Х18Н10Т, 09Г2С, Ст3 или аналоги [12]);
- горелка дежурная инжекционная (в количестве 3 шт. конструкция с использованием таких материалов как: 10Х18Н9Л, 12Х18Н10ТГОСТ 5632-72, 20Х23Н18 ГОСТ 5632-72, 15Х25Т ГОСТ 5632-72 и аналоги [12]);
- блок подготовки газа (в количестве 1 шт. Каркас: 09Г2С, Ст3 или аналоги [12]; Утеплитель - базальтовое волокно).
- вентилятор радиальный взрывозащищенный ВР-80-75-12,5В (воздуходувка) – для подачи воздуха к факельному оголовку ствола (в количестве 2 шт).

В таблицу 10 занесем технические характеристики факельного оголовка со струйным затвором.

Таблица 10 – Технические характеристики факельного оголовка

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Диаметр условный оголовка/ воздуховода оголовка/ ствола воздуховода	мм	900/1500/900
Высотная отметка верхнего среза	м	35,1
Масса, не более	кг	21750
Максимальное давление сжигаемого газа	МПа (кгс/см ²)	0,1 (1,0)
Расход сжигаемого газа		
Аварийный	нм ³ /ч	4200
Постоянный	нм ³ /ч	3600
Продувочный газ	нм ³ /ч	135

Продолжение таблицы 10

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Расход сжигаемого газа, (факельный коллектор 411) Аварийный Постоянный Продувочный газ	нм ³ /ч нм ³ /ч нм ³ /ч	17760 18 100
Плотность	кг/м ³	1,7-7,5
Максимальная температура	°С	120
Предел бездымности (по С ₄ Н ₁₀)	нм ³ /ч	8400
Расход газа на одну горелку/ на три горелки	нм ³ /ч	1,25/3,75
Давление газа на дежурные горелки	МПа (кгс/см ²)	0,07 (0,71)
Минимальная температура газа	°С	минус 5
Тип розжига		«бегущий огонь»
Расход газа линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге, нм ³ /ч		2,14
Давление газа линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге	МПа (кгс/см ²)	0,05 (0,5)
Расход сжатого воздуха линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге	нм ³ /ч	24,1
Давление сжатого воздуха линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге	МПа (кгс/см ²)	0,14 (1,4)

В таблицу 11 занесем технические характеристики горелки дежурной инжекционной.

Таблица 11 – Технические характеристики горелки дежурной инжекционной

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Марка		ГДИ – Х1
Габаритные размеры	мм	3496×310×150
Габаритные размеры с учетом розжига	мм	3496×460×350
Масса	кг	26,4
Масса с учетом системы розжига	кг	60
Газ на горелку		природный газ
Мощность номинальная	кВт	12,5
Давление пилотного газа номинальное, подаваемое на горелку дежурную,	МПа (кгс/см ²)	0,07 (0,7)
Расход пилотного газа номинальный на одну горелку дежурную	нм ³ /ч	1,25
<p>Система розжига:</p> <ul style="list-style-type: none"> - автоматический/ручной электроискровой (с пульта местного управления); - дистанционный (из шкафа АСУТП); - «бегущий огонь» 		
Давление газа номинальное, подаваемое на генератор «бегущего огня»	МПа (кгс/см ²)	0,07 (0,7)
Давление технического воздуха, подаваемого на генератор «бегущего огня»	нм ³ /ч	0,14 (1,4)
Расход газа, подаваемого на генератор «бегущего огня»	нм ³ /ч	2,14
Расход технического воздуха, подаваемого на генератор «бегущего огня»	нм ³ /ч	24,1
Система контроля пламени		термопара
Марка источника напряжения		ИВН 11Е/220

В таблицу 12 занесем технические характеристики блока подготовки газа.

Таблица 12 – Технические характеристики блока подготовки газа

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Габариты изделия (длина, ширина, высота)	см	286×96×220
Масса блока без учета оборудования КИПиА	кг	980
Масса блока с учетом оборудования КИПиА	кг	1100
Толщина изоляции стен шкафа	мм	100
Допустимая наружная температура эксплуатации блока	°С	от минус 50 до +50
Температура эксплуатации внутри блока	°С	не ниже +5
Температура топливного газа на входе в блок	°С	от минус 40 до +40
Максимальное давление топливного газа для розжига горелок дежурных и формирования «бегущего огня» на входе в блок (штуцер А ₁)	МПа (кгс/см ²)	1,0 (10,19)
Максимальное давление воздуха для формирования «бегущего огня» на входе в блок (штуцер В)	МПа (кгс/см ²)	1,0 (10,19)
Тип розжига		электроискровой розжиг
Расход газа на одну горелку/ на три горелки	нм ³ /ч	1,25/3,75
Давление газа на горелки дежурные на выходе из блока (штуцер А ₂)	МПа (кгс/см ²)	0,07 (0,7)
Тип розжига		«бегущий огонь»
Расход газа линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге	нм ³ /ч	2,14

Продолжение таблицы 12

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Давление газа линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге	МПа (кгс/см ²)	0,05 (0,5)
Расход сжатого воздуха линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге	нм ³ /ч	24,1
Давление сжатого воздуха линии «бегущего огня» на дежурную горелку, кратковременно при розжиге	МПа (кгс/см ²)	0,14 (1,4)

В таблицу 13 занесем технические характеристики вентилятора радиального.

Таблица 13 – Технические характеристики вентилятора радиального

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Производительность	м ³ /ч	52000
Полное давление	Па	1000
Электродвигатель Мощность Синхронная частота вращения, об/мин	кВт об/мин	30 750

3.4 Принцип работы факельного оголовка со струйным затвором

Работа УФБГ может осуществляться в автоматическом и ручном режимах [13].

Вначале в БПГ производится подготовка газа для дежурных горелок. При открытии клапана поз. 4.4 топливный газ через фильтр поз. 4.1.2 поступает на регулятор давления поз. 4.2.2. Регулятор давления поз. 4.2.2 понижает давление топливного газа до рабочего (для природного газа - 0,07 (0,71) МПа (кгс/см²)). При данном давлении обеспечивается устойчивая работа дежурных горелок. С помощью манометра поз. 4.6.2 осуществляется настройка и контроль давления на выходе из БПГ.

Аналогичным образом осуществляется подача и настройка топливного газа и воздуха на подготовку «бегущего огня». При открытии клапана топливный газ через фильтр поступает на регулятор давления. Регулятор давления понижает давление топливного газа до рабочего (для природного газа - 0,07 (0,71) МПа (кгс/см²)). С помощью манометра осуществляется настройка и контроль давления на выходе из БПГ. При открытии клапана сжатый воздух через фильтр поступает на регулятор давления. Регулятор давления понижает давление сжатого воздуха до рабочего (для сжатого воздуха - 0,14 (1,4) МПа (кгс/см²)). С помощью манометра осуществляется настройка и контроль давления сжатого воздуха на выходе из БПГ [14].

По показаниям расходомера осуществляется контроль расхода топливного газа. По показаниям датчика осуществляется контроль давления топливного газа перед регуляторами. По показаниям датчика температуры поз. 4.9 осуществляется контроль температуры топливного газа. Вывод показаний осуществляется на дисплей шкафа управления розжигом.

После получения сигнала о наличии пламени на ГД осуществляется подача сбросных газов на оголовок и производится их сжигание.

Контроль наличия пламени на ГД осуществляется с помощью термопар, установленных на ГД - при отсутствии пламени на пульт

управления розжигом поступает сигнал и будет моргать лампа «Авария горелок».

3.5 Технико-экономический расчет

Эффективное время работы установки 8040 час/год, поскольку 30 дней в году составляет период останова на капитальный ремонт.

Снижение энергопотребления составит: пар – 4 162 Гкал/год, природный газ – 489 868 нм³/год, при этом увеличение потребления электроэнергии составит 241 200 кВтч/год за счет внедрения воздухоудвки.

Стоимость природного газа составляет 4,54 руб/нм³, пара 982,61 руб/Гкал, электроэнергии 2,48 руб/кВтч. Исходя из этого, экономический эффект составляет 9761,58 тыс.руб/год.

Бюджет проекта составляет 17 116 тыс. руб (с учетом НДС).

Данные расчеты занесем в таблицу 14.

Таблица 14 – Технико-экономический расчет внедряемого оголовка

Наименование	Единица измерения	Значение
Экономия потребления пара	Гкал/год	4 162
Цена пара	руб/Гкал	982,61
Денежная экономия на паре	тыс.руб/год	4 090
Экономия природного газа	нм ³ /год	489 868
Цена природного газа	руб/нм ³	4,54
Денежная экономия на природном газе	тыс.руб/год	2 224
Увеличение потребления электроэнергии	кВт/год	241 200
Цена электроэнергии	руб/кВтч	2,48
Денежная экономия на электроэнергии	тыс.руб/год	-598
Общая денежная экономия	тыс.руб/год	5 716
Бюджет проекта	тыс.руб	17 116
Срок окупаемости проекта	год	3

Общую экономию энергоресурсов рассчитываем с учетом затрат на электроэнергию необходимую для работы воздуходувки. Для расчета простого срока окупаемости рассчитываем отношение средств необходимых для реализации проекта к общей денежной экономии на энергоресурсах. В результате получаем срок окупаемости данного проекта, который составляет 3 года. Все полученные результаты занесем в таблицу 14 [15].

Выводы по третьему разделу

Были рассмотрены основные преимущества и недостатки при внедрении факельного оголовка со струйным затвором, его конструкция, а также технические характеристики и принцип работы.

Далее был проведен технико-экономический расчет. На основании данного расчета можно сделать вывод о том, что техническое решение по замене оголовка факельной установки на оголовок со струйным затвором позволяет сэкономить как энергоресурсы, так и получить финансовую экономию. Данный проект имеет срок окупаемости 3 года, что является благоприятным, поскольку срок окупаемости не превышает 5 лет [15].

Заключение

В данной ВКР рассмотрен метод сжигания углеводородных газов с помощью факельного оголовка. Рассмотрено сжигание газов с помощью насыщения пара и подачи природного газа.

На текущий момент, можем наблюдать, что за счёт подачи пара идёт малое насыщение газов, что не позволяет производить более полное сжигание смеси.

В предлагаемой технологии вместо пара мы насыщаем углеводородные газы кислородом, то есть воздухом, что позволяет производить более полное сжигание.

Был произведен расчет материального баланса, что подтверждает эффективность данного предложения, поскольку происходит более полное сжигание газов с помощью воздуха.

Экономический эффект в результате получаем следующий: за счет того, что мы тратим большое количество пара, а воздух мы можем брать с атмосферы за счёт приточной системы (воздуходувки), мы не будем тратить определенную сумму на пар. За счет того, что кислородом идёт более полное насыщение углеводородных газов, мы так же будем тратить меньше природного газа на сжигание в факельном стволе.

Экологический эффект получаем следующий: за счет того, что насыщение кислородом идёт более полное, нежели со случаем, когда подается пар, это позволяет нам производить более полное сжигание смеси, за счет этого идет меньшее количество выбросов в атмосферу.

Исходя из полученных технико-экономических расчетов, можно сделать вывод о том, что техническое решение по замене оголовка факельной установки на оголовок со струйным затвором позволяет сэкономить как энергоресурсы, так и получить финансовую экономию. Данный проект имеет срок окупаемости 3 года, что является благоприятным, поскольку срок окупаемости не превышает 5 лет.

Список используемых источников

1. Винтовкин А.А., Деньгуб В.В., Татарников В.В., Чистополов А.В. Анализ ошибок в выборе средств розжига и контроля пламени [Электронный ресурс] // Электронный научный архив «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/37287/1/978-5-9907151-1-0_2015_046.pdf
2. ГОСТ Р 53681-2009 Нефтяная и газовая промышленность. Детали факельных устройств для общих работ на нефтеперерабатывающих предприятиях. Общие технические требования (Переиздание) [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200081446> (дата обращения: 14.02.2020).
3. ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с Изменением N 1) [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200113778> (дата обращения: 14.02.2020).
4. Лазарев С.О. Оценка влияния факельных установок на окружающую среду [Электронный ресурс] // Фед. Гос. Проф. Образ. URL: <http://works.doklad.ru/view/rSOIHm8eHrw/all.html> (дата обращения: 14.02.2020).
5. Певнев Е.Б. Химический состав и физические свойства газа [Электронный ресурс] // Электронный научный архив. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-8/8-2/8-2-3> (дата обращения: 14.02.2020).
6. Приказ Ростехнадзора от 11.03.2013 №96 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических и нефтеперерабатывающих производств» [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/499013213> (дата обращения: 14.02.2020).

7. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Консультант плюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/ (дата обращения: 15.03.2020).

8. Руководство по безопасности факельных систем [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107649> (дата обращения: 14.02.2020).

9. Система факельной автоматики [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Нефтегазстром». URL: <https://rusngs.ru/products/sistema-fakelnoj-avtomatiki-sfa/> (дата обращения: 14.02.2020).

10. Технологический регламент установки И-7-И-9а-ФХ ООО«Тольяттикаучук» от 10.06.2017.

11. Установки факельные модернизированные типа УФМГ [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «ТюменНИИгипрогаз». URL: <https://tyumenniigiprogaz.gazprom.ru/about/working/production/vypuskaemoe-oborudovanie/fakelnye-ustanovki/ustanovki-fakelnye-modernizir/> (дата обращения: 14.02.2020).

12. Фадеев О.В. Срок окупаемости проекта: новый подход к расчету [Электронный ресурс] // Практический журнал по управлению финансами. URL: <https://www.fd.ru/articles/159098-srok-okupaemosti-proekta> (дата обращения: 15.03.2020).

13. Факельное оборудование [Электронный ресурс] // Официальный сайт строительной компании «Монтажэнерго». URL: <http://montagenergo.com/fakel.html> (дата обращения: 14.02.2020).

14. Факельные системы с подачей пара и воздуха [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании ООО «Интех ГмбХ». URL: https://intech-gmbh.ru/chemia_flares/ (дата обращения: 14.02.2020).

15. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 15.03.2020).

16. Health and Safety at Work etc. Act 1974 [Электронный ресурс] // Словари и энциклопедии. URL: <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/2141056> (дата обращения: 15.03.2020).

17. Mark A. Friend, James P. Kohn Fundamentals of occupational safety and health, fourth edition, Government Institutes, 2007 [Электронный ресурс] // Health and Safety at the Center of Our World. URL: <http://www.ohshub.com> (дата обращения: 15.03.2020).

18. Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive waste, Radioactive waste management, 2012 [Электронный ресурс] // The Nuclear Energy Agency (NEA). URL: <http://www.oecd-nea.org> (дата обращения: 15.03.2020).

19. Physical Acoustics Corporation (PAC): Авторская перепечатка из книги Металлы (METALS HANDBOOK). 9-ое издание. М.: ASM International, 1989. 294 с.

20. R.A. Makhutov Process equipment safety management system and techniques based on failure risk criteria, Joint stock company, 2006 [Электронный ресурс] // ACCORDING OF THE TECHNOLOGIC REGULATION LAW REQUIREMENTS URL: <https://www.tdiag.ru/> (дата обращения: 15.03.2020).

21. Safe storage of hazardous chemicals in stockrooms, workshops and laboratories, Chemical safety guidance, Occupational Health and Safety Service, 2017 [Электронный ресурс] // Chemical Safety Guidelines - University of Manitoba. URL: <http://safety.admin.cam.ac.uk> (дата обращения: 15.03.2020).