

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ»

для студентов направления подготовки 18.04.01 Химическая технология
направленность (профиль) «Технология переработки нефти»

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Практическое занятие. Расчет рекуперативных теплообменников для охлаждения газа установки НТС	4
Практическое занятие. Расчет теплообменника «жидкость-жидкость» установки гликолевой осушки газа	8
Практическое занятие. Расчет водяного холодильника установки гликолевой осушки газа	12
Практическое занятие. Расчет конденсатора-холодильника установки гликолевой осушки газа	14
Практическое занятие. Расчет кипяtilьника установки гликолевой осушки газа	17
Практическое занятие. Расчет абсорбера установки гликолевой осушки газа	20
Практическое занятие. Технологические установки сепарации пластовой смеси	29
Практическое занятие. Стабилизация газовых конденсатов	32
Приложения	35
Список рекомендуемой литературы	40

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Химическая технология переработки углеводородных газов» является формирование набора профессиональных компетенций ПК-1, ПК-3, ПК-6 выпускника магистратуры по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология направленность (профиль) «Технология переработки нефти».

Основные задачи изучения дисциплины:

- заложить основу знаний по теории и практике процессов переработки природных газов;
- дать представления о физико-химических основах процессов, научить обосновывать параметры технологического режима;
- сформировать научный подход к подбору реагентов, сорбентов, катализаторов процессов;
- ознакомить с технологическими схемами и аппаратным оформлением процессов переработки природных газов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ РАСЧЕТ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА УСТАНОВКИ НТС

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой и познакомить с особенностями расчета теплообменной аппаратуры.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

1. Состав добываемого газа. Проблемы, обусловленные наличием влаги и тяжелых углеводородов в газе: коррозия, гидратообразование.
2. Какие углеводородные компоненты подлежат извлечению из добываемого газа и как их можно использовать?
3. Низкотемпературные способы разделения природного газа.
4. При каком из двух процессов расширения газа изэнтропийном ($S=\text{const}$) или изохорическом ($i=\text{const}$) достигается более глубокое снижение температуры?
5. Холодильные циклы, основанные на дросселировании природного газа.
6. Эффект Джоуля-Томпсона, коэффициент Джоуля-Томпсона.
7. Назначение установок НТС. Технологическая схема НТС. Основное оборудование.
8. Классификация теплообменных аппаратов по технологическому признаку.
9. Рекуперация тепла (холода) на установках переработки природных газов.
10. Какие меры принимаются на установках НТС для предупреждения гидратообразования?
11. Токсикологические свойства метанола и меры предосторожности при работе с ним.
12. Факторы, влияющие на эффективность работы установок НТС.

Методические рекомендации

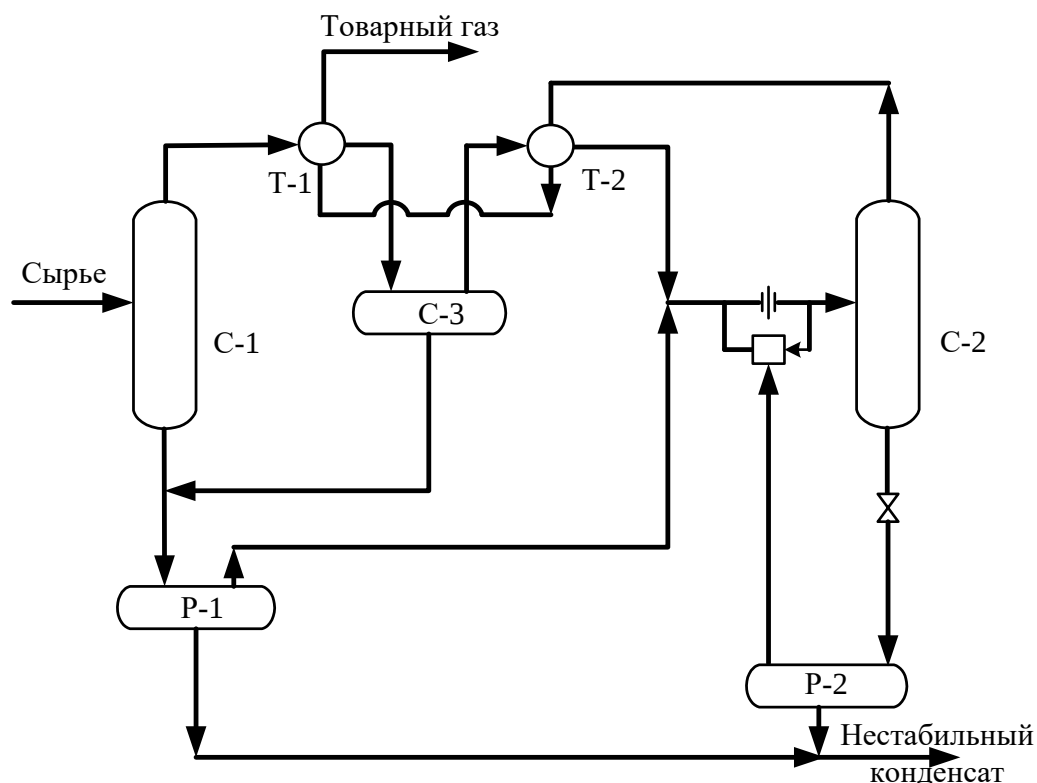
Теоретическое обоснование. Технологические процессы нефтяной, нефтехимической и газовой отраслей промышленности связаны с нагревом или охлаждением.

Установки НТС предназначены для выделения конденсата и влаги из газа в промышленных условиях путем их конденсации при охлаждении газа. Получение холода на установках НТС обеспечивается дросселированием газа.

При низкотемпературной сепарации газа могут образовываться гидраты за счет сконденсированной влаги. Для предупреждения гидратообразования в поток газа перед дросселированием вводят ингибитор гидратообразования – метанол, гликоли.

Принципиальная схема установки НТС приведена на рисунке 1. Установка работает по следующему принципу. При наличии избыточного давления снижение температуры достигается за счет изохорического расширения газа. Энергия газа сепарации (отбензиненного газа) рекуперируется с использованием теплообменников Т-1 и Т-2.

Эффективность работы установок НТС зависит от состава газа, давления, температуры.



P-1, P-2 – трехфазные разделители; T-1, T-2 – рекуперативные теплообменники;
C-1, C-2, – сепараторы; C-3 – низкотемпературный сепаратор.

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки НТС

Теплообменным называется аппарат, в котором происходит обмен теплом между двумя теплоносителями. По технологическому признаку различают следующие теплообменные аппараты: теплообменник, холодильник жидкостной, холодильник газовый, конденсатор, испаритель, подогреватель, кипятильник. Их стоимость составляет в среднем 15% от общей стоимости оборудования технологических установок.

Целью расчета теплообменных аппаратов является определение поверхности нагрева и числа стандартных аппаратов. При курсовом проектировании выполняется поверочный (оценочный) расчет, когда размеры аппарата подлежат определению.

В проектном расчете теплообменных аппаратов исходными данными являются начальные температуры обоих теплоносителей, одна из конечных температур и количества теплоносителей, определяют вторую конечную температуру, количество передаваемого тепла и поверхность теплообмена.

В технологических схемах установок НТС предусматривается регенерация (рекуперация) холода обратных потоков.

На рисунке 2 приводится расчетная схема процесса охлаждения газа. В качестве холодного теплоносителя используется обратный поток отсепарированного газа.

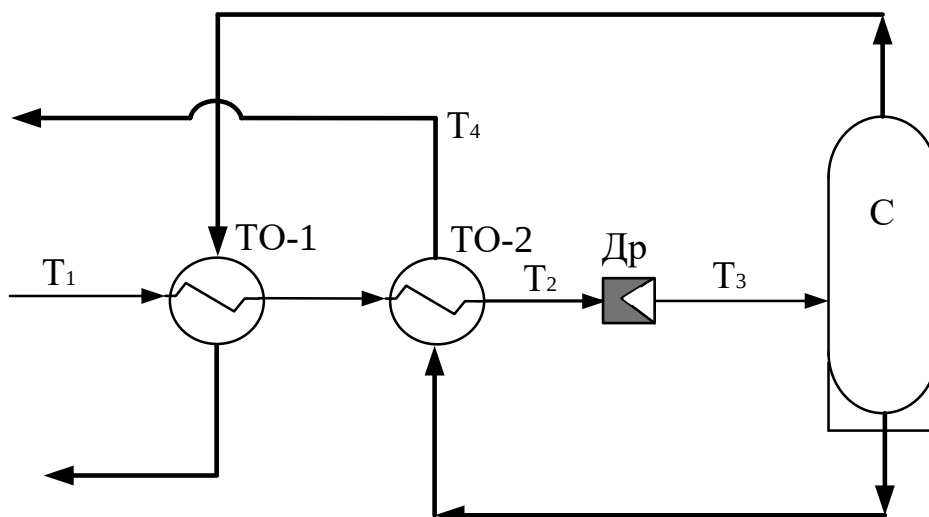


Рисунок 2 – Расчетная схема

Охлаждение газа происходит следующим образом. Добытый из скважины газ с температурой T_1 поступает в теплообменник т/о, в котором охлаждается от температуры T_1 до температуры T_2 холодным потоком осушенного газа из сепаратора С. Из теплообменника частично охлажденный газ поступает на дроссельное устройство Др, где происходит расширение газа за счет снижения давления. Расширение газа сопровождается снижением температуры до T_3 (температура сепарации) и конденсацией тяжелых углеводородов и паров воды. В сепараторе углеводородный конденсат отделяется от осушенного газа, который направляется в теплообменник т/о в качестве холодного теплоносителя.

Температура газа после теплообменника т/о зависит от поверхности теплообмена и температуры отбензиненного газа из С. Увеличение поверхности теплообмена позволяет снизить температуру сепарации, но увеличивает капиталовложения. Экономическая целесообразность снижения температуры сепарации должна учитывать также тот факт, что это приводит к повышению степени конденсации легких компонентов газа и при этом коэффициент избирательности процесса по фракции C_3 снижается.

Расчет теплообменника «газ-газ»

Пример: рассчитать поверхность теплообмена теплообменника для охлаждения газа Бейсугского месторождения на установке НТС при следующих условиях:

1 исходные данные:

- 1.1 расход газа $Q_r = 270$ млн.м³/год;
- 1.2 давление газа $P = 10$ МПа;
- 1.3 давление в транспортном газопроводе $P_{тр} = 5$ МПа;
- 1.4 температура газа $T_1 = 35^\circ\text{C}$;
- 1.5 температура точки росы осушенного газа $T_{т.р.} = -10^\circ\text{C}$.

2 Алгоритм расчета

- 2.1 Определяется перепад давления на дросселе Др.

$$\Delta P = P_1 - P_c \quad (1)$$

где P_c – давление сепарации, МПа;

ΔP – перепад давления на дросселе, МПа.

Давление сепарации не должно быть меньше давления в транспортном газопроводе. Для дальнейших расчетов принимаем давление сепарации равным давлению в транспортном газопроводе.

$$P_c = P_{тр}$$

После подстановки найденных величин в уравнение (1) получим:

$$\Delta P = 10 - 5 = 5 \text{ МПа}$$

- 2.2 При дросселировании газа высокого давления до давления сепарации происходит понижение температуры.

Снижение температуры происходит в среднем на $3,3^\circ\text{C}$ при снижении давления на каждые 0,1 МПа (эффект Джоуля-Томпсона).

$$\Delta T = \varepsilon \cdot \Delta P, \quad (2)$$

где ε – коэффициент Джоуля-Томпсона, °С/МПа;

ΔP – перепад давления на дросселе, МПа.

$$\Delta T = 3,3 \cdot 5 = 16,5^\circ\text{C}$$

2.3 Зная перепад давления на дросселе, определяется из уравнения (3) температура газа после теплообменника T_2 .

$$\Delta T = T_2 - T_3 \quad (3)$$

где T_3 – температура сепарации, °С.

$$T_3 = T_{\text{т.р.}}$$

$$T_2 = \Delta T + T_3 \quad (4)$$

$$T_2 = 16,5 + (-10) = 6,5^\circ\text{C}$$

2.4 Тепловая нагрузка теплообменника рассчитывается по уравнению (5)

$$Q_{\text{то}} = Q_{\text{г}} \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) \quad (5)$$

где C_p – удельная теплоемкость газа, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{град.}}$;

$Q_{\text{г}}$ – расход газа, м³/ч.

По справочным данным $C_p = 2,09 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{град.}}$

Подставляем найденные величины в уравнение (5)

$$Q_{\text{то}} = 30822 \cdot 2,09 \cdot (35 - 6,5) = 1835912,4 \text{ кДж/ч}$$

2.5 Средняя разность температур определяется по формуле Грасгофа (6)

$$\Delta T_{\text{cp}} = \frac{\Delta T_{\delta} - \Delta T_{\text{м}}}{\ln \left(\frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\text{м}}} \right)} \quad (6)$$

где ΔT_{δ} и $\Delta T_{\text{м}}$ – большая и меньшая разность температур на концах теплообменника, °С.

$$T_1 \rightarrow T_2$$

$$T_4 \leftarrow T_3$$

$$\Delta T_{\delta} \quad \Delta T_{\text{м}}$$

Эффективная работа рекуперативного теплообменника обеспечивается при разнице температур на концах не менее 10°С. Тогда $T_4 = 35 - 10 = 25^\circ\text{C}$.

$$\Delta T_{\delta} = 6,5 + 10 = 16,5$$

$$\Delta T_{\text{м}} = 35 - 25 = 10$$

$$\Delta T_{\text{cp}} = \frac{16,5 - 10}{\ln \left(\frac{16,5}{10} \right)} = 13^\circ\text{C}$$

2.6 Поверхность теплообмена рассчитывается по уравнению (7)

$$F = \frac{Q_{\text{то}}}{K \cdot \Delta T_{\text{cp}}}, \text{ м}^2$$

где K – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

По справочным данным для теплообменников «газ-газ» $K = 586 \text{ кДж/м}^2\text{К}$

$$F = \frac{1835912,4}{586 \cdot 13} = 337 \text{ м}^2$$

Найденная поверхность теплообмена является минимальной, т.к. в расчетах не учитывались загрязнения стенок.

2.7 На основании результатов расчетов выбирается кожухотрубчатый теплообменник типа ТП с поверхностью теплообмена 130 м². Наружный диаметр корпуса 720 мм, давление 1,6 МПа
Необходимое количество аппаратов

$$n = \frac{F_{\text{то}}}{F_{\text{тп}}} = \frac{337}{130} = 2,6$$

Из расчета следует, что для заданных условий следует последовательно установить три аппарата.

Содержание отчета и его форма

В отчете студент должен дать расчетную схему, кратко осветить основные теоретические положения, отразить цель расчета и полученные результаты.

При защите выполненной работы студент должен представить отчет, ответить на вопросы преподавателя.

- 1 Как определяется средний температурный напор теплообменного аппарата?
- 2 Тепловая нагрузка теплообменного аппарата.
- 3 Факторы, влияющие на коэффициент теплопередачи.
- 4 Как влияют на коэффициент теплопередачи отложения загрязнений на стенках аппарата?
- 5 Какая зависимость существует между коэффициентом избирательности процесса и температурой сепарации?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА «ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ» УСТАНОВКИ ГЛИКОЛЕВОЙ ОСУШКИ ГАЗА

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой и познакомить с особенностями расчета теплообменной аппаратуры на установках гликолевой осушки газа.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

- 1 Состав добываемого газа. Проблемы, обусловленные наличием влаги и тяжелых углеводородов в газе: коррозия, гидратообразование.
- 2 Влагосодержание газа. Влияние давления, температуры и компонентного состава на влагосодержание природных газов.
- 3 Каково влияние влаги, содержащейся в газе, на технологические процессы переработки и транспортировки газа?
- 4 Способы осушки природных газов: адсорбционные, абсорбционные, физические.
- 5 Какие технологические параметры определяют глубину осушки газа? Какие из них относятся к управляемым в процессе эксплуатации?
- 6 Абсорбенты для извлечения влаги из газа. Каковы способы регенерации гликолей? В чем состоит преимущество ТЭГ перед ДЭГ?
- 7 Как изменяются условия эксплуатации установок осушки газа в процессе разработки месторождения? Каким образом можно избежать реконструкции установок?
- 8 Чем определяется выбор способа осушки?
- 9 Дать определение температуры точки росы. Регламентируемые параметры осушенного газа.
- 10 Классификация теплообменных аппаратов по потокам теплоносителей.
- 11 Рекуперация тепла на установках гликолевой осушки природных газов.
- 12 Загрязнение гликолей в процессе эксплуатации установок осушки газа. Меры борьбы с загрязнением гликолей.
- 13 Почему не нашли широкого промышленного применения растворы хлорида кальция и лития в качестве абсорбентов осушки газа? Когда используются эти абсорбенты?

Методические рекомендации

Теоретическое обоснование. В пластовых условиях газ находится в контакте с водой, поэтому природные газы всегда насыщены влагой. Количество влаги в газе зависит от давления, температуры и состава. Тяжелые углеводородные газы содержат меньшее количество воды, чем легкие. Наличие CO_2 и H_2S увеличивает влагосодержание, а присутствие азота N_2 снижает.

Процесс извлечения парообразной влаги называется осушкой газа. Остаточное содержание влаги регламентируется температурой точки росы (ТТР) осушенного газа. ТТР называется температура, при которой при данных давлении и составе газа могут конденсироваться пары воды.

При падении пластового давления в процессе разработки месторождений повышается влажность газа, поступающего на осушку. Для обеспечения необходимой глубины осушки в этом случае на действующих установках используют корректировку технологического режима работы аппаратов. Чаще всего управляемыми параметрами являются скорость циркуляции абсорбента и концентрация гликоля.

В зависимости от глубины осушки газа могут применяться разные методы:

- абсорбция;
- адсорбция;
- охлаждение;
- комбинирование методов.

Наиболее распространен в промышленности абсорбционный метод осушки газа. В качестве абсорбентов осушки газа применяются: гликоли ДЭГ, ТЭГ, водные растворы хлорида кальция и лития, комбинированные растворы. Физические свойства гликолей, наиболее распространенных в промышленности, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физические параметры гликолей

Физические свойства	ДЭГ ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_3$)	ТЭГ ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_4$)
Относительная молекулярная масса	106,12	150,18
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1118,4	1125,4
Температура кипения при атмосферном давлении, °С	245	287,4
Абсолютная вязкость при 20 °С, мПа · с	35,7	47,8
Удельная теплоемкость при 20 °С, Дж/ (г · К)	2,093	2,198
Удельная теплота испарения при атмосферном давлении, кДж/кг	348,34	414,91
Температура разложения (теоретическая), °С	164,4	206,7
Температура замерзания, °С	- 8	- 7,2

ТЭГ отличается высокой гигроскопичностью и может обеспечить депрессию точки росы от 20 до 50 °С, стабилен в присутствии сернистых соединений, имеет низкую упругость паров (потери от испарения 5-7 г на 1000 м³ газа), степень регенерации 99%, практически нетоксичен.

Растворы хлоридов кальция и лития применяются редко из-за их высокой коррозионной активности. Используются чаще в лабораторных условиях. Комбинированные растворы могут быть представлены: 10-30% МЭА; 60-85% ДЭГ; 5-10% вода. Используются, в основном, для одновременной осушки и очистки газа от кислых компонентов.

На установках гликолевой осушки газа используется следующее теплообменное оборудование: теплообменники, холодильники, конденсаторы-холодильники, кипятильники.

Расчетная схема процесса осушки газа приводится на рисунке 3.

В абсорбере А из газа, который подается в нижнюю часть абсорбера, извлекается влага. В качестве абсорбента используется гликоль, который подается в верхнюю часть абсорбера. Поток насыщенного гликоля выводится с низа абсорбера и нагревается в рекуперативном теплообменнике ТО, в подогревателе П, после чего поступает в десорбер Д на регенерацию.

$$Q_p = G_p \cdot C_p \cdot (T_3 - T_4) \quad (1)$$

где C_p – удельная теплоемкость регенерированного гликоля, $\frac{\text{кдж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

По справочным данным [7] теплоемкость регенерированного гликоля в зависимости от его концентрации $C_p = 2,85 \frac{\text{кдж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Подставив в уравнение (1) найденные значения, имеем:

$$Q_p = 1523 \cdot 2,85 \cdot (155 - 90) = 282135,8 \text{ кдж} / \text{ч}$$

2.3 Из уравнения теплового баланса теплообменника (2) определим конечную температуру насыщенного гликоля T_2 .

$$G_p \cdot C_p \cdot (T_3 - T_4) = G_{\text{нас}} \cdot C_p^{\text{нас}} \cdot (T_2 - T_1) \quad (2)$$

где $C_p^{\text{нас}}$ – теплоемкость насыщенного гликоля, $\frac{\text{кдж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

$$C_p^{\text{нас}} = 2,8 \frac{\text{кдж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

$$T_2 = \frac{282135,8}{1551 \cdot 2,8} + 25 = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.4 Поверхность теплообмена рассчитывается по формуле (3)

$$F_{\text{то}} = \frac{Q_p}{K \cdot \Delta T_{\text{cp}}} \quad (3)$$

где K – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{кдж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

ΔT_{cp} - средний температурный напор теплообменника, $^\circ\text{C}$.

2.4.1 Средний температурный напор для противотока и прямотока определяется по уравнению (4)

$$\Delta T_{\text{cp}} = \frac{\Delta T_{\text{б}} - \Delta T_{\text{м}}}{\ln \left(\frac{\Delta T_{\text{б}}}{\Delta T_{\text{м}}} \right)} \quad (4)$$

где $\Delta T_{\text{б}}$ и $\Delta T_{\text{м}}$ - большая и меньшая разность температур на концах теплообменника, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta T_{\text{б}} = T_3 - T_2 = 155 - 90 = 65$$

$$\Delta T_{\text{м}} = T_4 - T_1 = 90 - 25 = 65$$

$$\Delta T_{\text{cp}} = 65^\circ \text{C}$$

2.4.2 Коэффициент теплопередачи по справочным данным [3] составляет

$$K = 335 \frac{\text{кдж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

2.4.3 Поверхность теплообмена составит

$$F = \frac{282135,8}{335 \cdot 65} = 13 \text{ м}^2$$

С учетом коэффициента запаса $k=20\%$ поверхность теплообмена $F_{\text{то}}=15,5 \text{ м}^2$.

2.5 На основании результатов расчетов выбирается кожухотрубчатый теплообменник типа ТП с поверхностью теплообмена 30 м^2 .

Из расчета следует, что для заданных условий следует установить один аппарат.

Содержание отчета и его форма

В отчете студент должен дать расчетную схему, кратко осветить основные теоретические положения, отразить цель расчета и полученные результаты.

При защите выполненной работы студент должен представить отчет, ответить на вопросы преподавателя.

- 1 Почему теплообменник для нагрева насыщенного гликоля называется рекуперативным?
- 2 Что такое средний температурный напор теплообменного аппарата?
- 3 В каком случае средний температурный напор теплообменника можно определять как среднеарифметическое значение?
- 4 Уравнение теплового баланса теплообменного аппарата. Как учитываются потери тепла в окружающую среду в уравнении теплового баланса?
- 5 Коэффициент теплопередачи. Как можно повысить коэффициент теплопередачи, не меняя конструкции аппарата?
- 6 Какая граничная разность температур на концах рекуперативного теплообменника обеспечивает эффективность его эксплуатации?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА УСТАНОВКИ ГЛИКОЛЕВОЙ ОСУШКИ ГАЗА

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой и познакомить с особенностями расчета теплообменной аппаратуры на установках гликолевой осушки газа.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

- 1 Состав добываемого газа. Почему влагу, содержащуюся в газе, необходимо удалять?
- 1 Влагосодержание газа. Влияние давления, температуры на влагосодержание природных газов.
- 2 Каково влияние влаги, содержащейся в газе, на технологические процессы переработки и транспортировки газа?
- 3 Абсорбционный способ осушки природных газов.
- 4 Как влияет температура на глубину осушки газа?
- 5 Абсорбенты для извлечения влаги из газа.
- 6 Почему регенерацию гликолей целесообразно проводить под вакуумом?
- 7 Технологические параметры осушки газа.
- 8 Что в качестве хладагента используется в теплообменных аппаратах на установках осушки природного газа?
- 9 Причины коррозии оборудования установок осушки газа.

Методические рекомендации

Теоретическое обоснование. На установках гликолевой осушки природного газа для охлаждения регенерированного раствора абсорбента используются холодильники.

В холодильниках для охлаждения горячего теплоносителя в качестве хладагента можно использовать воду (жидкостной холодильник) или воздух (воздушный холодильник). При выборе хладагента следует руководствоваться тем, что вода для охлаждения используется в случае, если конечная температура охлаждаемого потока порядка 20°C. Воздушный холодильник способен обеспечить конечную температуру охлаждаемого потока не ниже 50°C. Охлаждение до более низких температур можно обеспечить в две стадии: первоначально охлаждение воздухом, после чего охлаждение в концевых конденсаторах-холодильниках.

Начальную температуру хладагентов принимают.

Для воздуха - равной средней температуре сухого воздуха в 13 часов дня самого жаркого месяца ($T_{\text{в}}$). Поскольку в течение года температура воздуха, для расчетов следует брать более высокие температуры, определяемые по нижеприведенной формуле.

$$T_{\text{расч.}} = T_{\text{в}} + 0,25(T_{\text{макс}} - T_{\text{в}})$$

Когда температура окружающего воздуха превышает расчетную температуру, применяется увлажнение воздуха. Вода частично испаряется, благодаря чему температура воздуха понижается.

Для воды – 5-10°C.

Конечную температуру хладагентов обычно принимают:

для воды 55 – 60°C;

для воздуха - на 20 К выше температуры охлаждающего воздуха.

В таблице 2 приведены температуры охлаждающего воздуха в зависимости от географического расположения.

Таблица 2 – Температура охлаждающего воздуха

Место расположения аппарата	Температура, К		Температура, рекомендуемая для расчета $T_{расч}$, К	Место расположения аппарата	Температура, К		Температура, рекомендуемая для расчета $T_{расч}$, К
	$T_{макс}$	$T_{в}$			$T_{макс}$	$T_{в}$	
Баку	311	301	304	Омск	312	297	301
Батуми	309	299	302	Орск	313	300	303
Грозный	315	302	306	Пермь	310	295	299
Гурьев	318	303	307	Полоцк	307	294	298
Иркутск	308	296	299	Рязань	311	296	300
Комсомольск	306	296	298	Сызрань	313	300	303
Красноводск	315	305	307	Уфа	310	297	300
Куйбышев	310	297	301	Чарджоу	317	309	311
Москва	308	295	298	Ярославль	308	295	298

В настоящее время для абсорбционной осушки природных газов в основном применяют ДЭГ или ТЭГ. Важным показателем установок осушки газа является глубина осушки. Глубина осушки зависит от температуры, при которой газ контактирует с абсорбентом. С повышением температуры контакта увеличивается парциальное давление воды над абсорбентом, при этом повышается температура точки росы осушенного газа. С понижением температуры контакта температура точки росы осушенного газа понижается, глубина осушки увеличивается. Обычно абсорбционная осушка газа применяется при температуре осушаемого газа не более 45°C. Температура гликоля, подаваемого в абсорбер, может меняться для ДЭГа от 10 до 40°C, для ТЭГа – не более 70°C. Как правило, эффективная эксплуатация установок гликолевой осушки газа обеспечивается при температуре контакта газа с абсорбентом не более 30-40°C.

Температура контакта газа с абсорбентом регулируется температурой подаваемого на абсорбцию регенерированного гликоля. Для обеспечения необходимой температуры регенерированного абсорбента на установках гликолевой осушки газа используются водяные холодильники, поскольку воздушными холодильниками не удастся обеспечить охлаждение регенерированного абсорбента ниже 45°C.

Расчет водяного холодильника

Пример. Выполнить проектный (оценочный) расчет холодильника для охлаждения регенерированного гликоля после рекуперативного теплообменника.

1 Исходные данные

1.1 Горячий поток – регенерированный гликоль после т/о:

- расход $G_p=1523$ кг/ч (см. пример 3.1);

- температура на входе $T_1'=90^\circ\text{C}$;

- температура на выходе $T_1''=25$

1.2 Холодный поток – вода;

- начальная температура воды – $T_2'=10^\circ\text{C}$.

2 Алгоритм расчета.

Расчетная схема

$$\begin{aligned} T_1' &\rightarrow T_1'' \\ T_2'' &\leftarrow T_2' \end{aligned}$$

2.1 Для охлаждения регенерированного раствора гликоля до температуры 25°C следует использовать водяной холодильник. Конечную температуру охлаждающей воды принимаем равной $T_2''=55^\circ\text{C}$ [8].

2.2 Из уравнения теплового баланса холодильника (1) определим расход воды.

$$G_p \cdot C_p \cdot (T_1' - T_1'') = G_v \cdot C_v \cdot (T_2'' - T_2') \quad (1)$$

$$G_{\text{в}} = \frac{1523 \cdot 2,85 \cdot (90 - 25)}{4,187 \cdot (55 - 10)} = 1497,5 \text{ кг/ч}$$

2.3 Средний температурный напор холодильника определяется аналогично вышеприведенным примерам.

$$\Delta T_{\delta} = 90 - 55 = 35$$

$$\Delta T_{\text{м}} = 25 - 10 = 15$$

$$\Delta T_{\text{ср}} = 23,6^{\circ} \text{C}$$

2.4 Тепловая нагрузка холодильника

$$G_{\text{р}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (T_1' - T_1'') = 1523 \cdot 2,85 \cdot (90 - 25) = 282135,8 \text{ кДж/ч}$$

2.5 Коэффициент теплопередачи по справочным данным [3] составляет

$$K = 335 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

2.6 Поверхность теплообмена составит

$$F = \frac{282135,8}{335 \cdot 23,6} = 35 \text{ м}^2$$

С учетом коэффициента запаса $k=20\%$ поверхность теплообмена $F_{\text{то}}=42 \text{ м}^2$.

Содержание отчета и его форма

В отчете студент должен дать расчетную схему, кратко осветить основные теоретические положения, отразить цель расчета и полученные результаты.

При защите выполненной работы студент должен представить отчет, ответить на вопросы преподавателя.

- 1 Какие хладагенты применяются в холодильниках для охлаждения горячих потоков?
- 2 В каких случаях целесообразно применять воздушный холодильник?
- 3 Когда применяется в качестве хладагента вода?
- 4 Как определяется конечная температура охлаждаемого потока?
- 5 Что такое наибольшая и наименьшая разность температур теплообменника и как она определяется?
- 6 Физический смысл коэффициента теплопередачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ РАСЧЕТ КОНДЕНСАТОРА-ХОЛОДИЛЬНИКА УСТАНОВКИ ГЛИКОЛЕВОЙ ОСУШКИ ГАЗА

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой и познакомить с особенностями расчета теплообменной аппаратуры на установках гликолевой осушки газа.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

- 1 Каковы способы регенерации гликолей?
- 2 Почему регенерация под вакуумом позволяет обеспечить более глубокую степень регенерации?
- 3 Чем ограничивается температура регенерации гликолей?
- 4 Как обеспечить высокую концентрацию регенерированного гликоля?
- 5 Какой метод регенерации гликоля необходимо применить для получения температуры точки росы осушенного газа минус 30°C ?
- 6 Почему регенерацию гликолей целесообразно проводить под вакуумом?
- 7 Технологические параметры регенерации гликолей.

Методические рекомендации

Теоретическое обоснование. Большое влияние на эффективность осушки газа оказывает концентрация гликоля на входе в абсорбер, которая, в свою очередь, зависит от эффективности регенерации гликоля. При регенерации под атмосферным давлением при нагреве до температуры 174°C можно получить концентрацию ДЭГа до 97,5%. Максимальная депрессия точки росы, достигаемая при такой концентрации, не превышает 30°C .

Концентрация ТЭГа при регенерации при атмосферном давлении при допустимой температуре нагрева не более 210°C может достичь 98,7-98%. Депрессия точки росы газа при этом достигает 40°C .

Для повышения концентрации регенерированного гликоля на промышленных установках чаще используют регенерацию под вакуумом. На установках вакуумной регенерации давление составляет 0,06-0,08 МПа. При этом температура регенерации ДЭГа составляет $120-150^{\circ}\text{C}$ и достигается 98,5-99,3% концентрация, при температуре регенерации ТЭГа не более 204°C достигается концентрация 99,5%. При таких концентрациях можно обеспечить депрессию точки росы $50-70^{\circ}\text{C}$.

При регенерации абсорбента происходит испарение поглощенной в абсорбере влаги. В десорбере при отпарке воды происходит частичное испарение гликоля (абсорбента). За счет растворимости углеводородов в абсорбенте (при высоком давлении) в абсорбере в поток абсорбента попадают углеводороды. В десорбере за счет снижения давления и повышения температуры происходит дегазация этих углеводородов. Таким образом, поток парогазовой смеси, выходящий с верха десорбера, включает пары воды, гликоля и углеводороды. Состав парогазовой смеси определяется при расчете абсорбера.

Парогазовая смесь из десорбера поступает в конденсатор-холодильник, в котором происходит конденсация паров воды и гликоля, а углеводороды в конденсаторе-холодильнике К-Х не конденсируются.

Различают конденсаторы-холодильники погружные, оросительные, воздушные. Аппараты воздушного охлаждения (АВО) позволяют сократить потребление воды, отличаются высокой эффективностью и надежностью в работе. Коэффициенты теплопередачи для разных климатических условий составляют 235-582 Вт/(м²*К). принудительная подача воздуха осуществляется вентилятором. В этом аппарате происходит неполная конденсация продуктов парогазового потока.

Расчет конденсатора-холодильника

Пример. Выполнить расчет водяного конденсатора-холодильника (на схеме К-Х) на блоке регенерации гликоля установки осушки газа.

На рисунке 4 приводится расчетная схема.

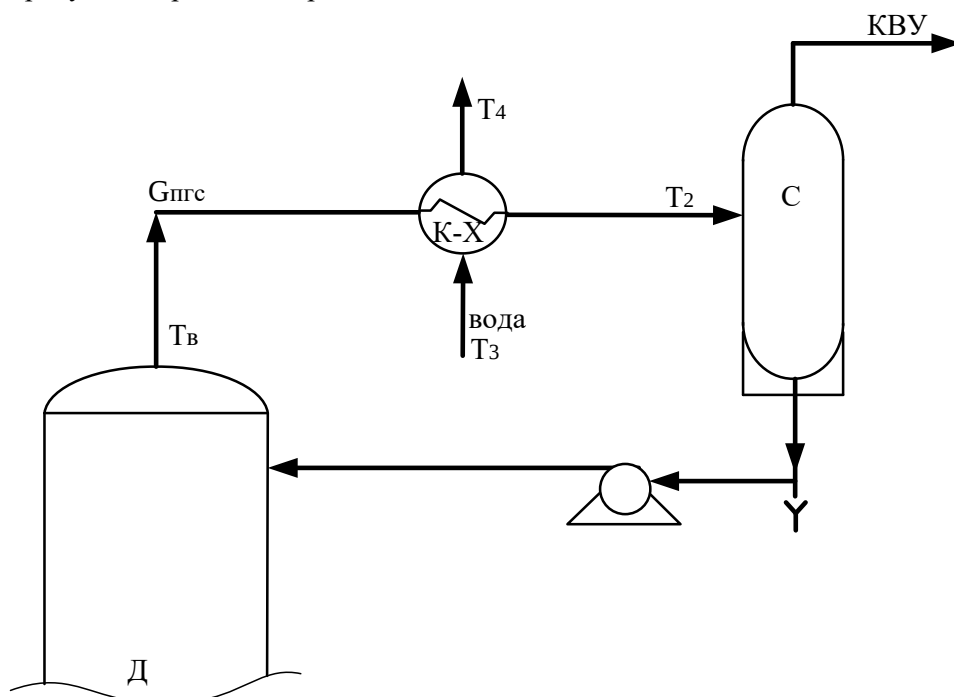


Рисунок 4 - Расчетная схема

1 Исходные данные.

1.1 Температура верха десорбера (Д) – $T_в=100^{\circ}\text{C}$;1.2 Количество парогазовой смеси – $G_{\text{пгс}}=28,52 \text{ кг/ч}$;1.3 Температура газожидкостной смеси на выходе К-Х – $T_2=95^{\circ}\text{C}$;1.4 Начальная температура воды – $T_3=20^{\circ}\text{C}$;1.5 Конечная температура воды – $T_4=60^{\circ}\text{C}$.

1.6 Состав ПГС определяется при расчете абсорбера: влага -23,68 кг/ч; углеводороды – 5,38 кг/ч; гликоль - 0,75 кг/ч.

2 Алгоритм расчета.

Расчетная схема

$$T_в \rightarrow T_2$$

$$T_4 \leftarrow T_3$$

Температура парогазового потока на входе в конденсатор-холодильник должна равняться температуре на верху десорбера, из которого этот поток поступает в конденсатор-холодильник. Паровая часть потока представляет насыщенный водяной пар.

В конденсаторе-холодильнике имеется две расчетные зоны: зона конденсации насыщенного пара и зона охлаждения конденсата.

2.1 Тепловая нагрузка конденсатора-холодильника определяется по формуле (1)

$$Q_{\text{к-х}} = Q_{\text{конд}} + Q_{\text{охл}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{охл}}$, $Q_{\text{конд}}$ – тепловая нагрузка зон охлаждения и конденсации, кДж/ч

2.2 Тепловая нагрузка зоны конденсации паров воды определяется из расчета того, что конденсируется только пар, т.к. часть гликоля уносится в жидкой фазе, а количеством гликоля в паровой фазе можно пренебречь из-за его малости, углеводороды при термобарических условиях верха десорбера не конденсируются. Расчет выполняется по формуле (2)

$$Q_{\text{конд}} = G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot r_{\text{H}_2\text{O}} \quad (2)$$

где $r_{\text{H}_2\text{O}}$ – скрытая теплота конденсация воды, кДж/кг.По справочным данным [1] $r_{\text{H}_2\text{O}}=2296,5 \text{ кДж/кг}$.

$$Q_{\text{конд}} = 23,68 \cdot 2296,5 = 54381,1 \text{ кДж/ч}$$

2.3 Тепловая нагрузка зоны охлаждения, определяется по уравнению (3)

$$Q_{\text{охл}} = G_{\text{пгс}} \cdot C_p^{\text{нзс}} \cdot \Delta T \quad (3)$$

где $C_p^{\text{нзс}}$ – теплоемкость парогазовой смеси, кДж/кг*град; ΔT – разность начальной и конечной температур ПГС, $^{\circ}\text{C}$.

При определении теплоемкости парогазовой смеси допускается упрощение, что смесь представлена водяным паром. По справочным данным $C_p^{\text{нзс}}=2,1 \text{ кДж/кг*град}$ [1].

$$\Delta T = T_в - T_2$$

Подставив найденные значения в уравнение (2), получим

$$Q_{\text{охл}} = 28,52 \cdot 2,1 \cdot (100 - 95) = 299,5 \text{ кДж/ч}$$

Подставив найденные значения в (1), получим

$$Q_{\text{к-х}} = 54381,1 + 299,5 = 54680,6 \text{ кДж/ч}$$

2.4 Из уравнения теплового баланса К-Х (4) определяется количество хладагента (воды) (5).

$$Q_{\text{хол}} = Q_{\text{гор}} = Q_{\text{к-х}} \quad (4)$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{Q_{\text{к-х}}}{C_p^{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_4 - T_3)} \quad (5)$$

Расход воды составит

$$G_{H_2O} = \frac{54680,6}{4,187 \cdot (60 - 20)} = 326,5 \text{ кг/ч}$$

2.5 Температура охлаждающей воды (τ) в конце зоны конденсации (или в начале зоны охлаждения) определяется из уравнения теплового баланса этой зоны

$$Q_{\text{конд}} = G_{H_2O} \cdot C_p^{nc} \cdot (T_2 - \tau)$$

$$\tau = 60 - \frac{54381,1}{326,5 \cdot 4,187} = 60 - 39,7 = 20,3^\circ\text{C}$$

Из данных расчетов следует, что в конденсаторе-холодильнике зона охлаждения конденсата невелика по своей тепловой нагрузке и по изменению температуры воды, всего на $0,3^\circ\text{C}$.

2.6 Поверхность теплообмена конденсатора-холодильника определяется аналогично примерам, приведенным выше.

$$\Delta T_6 = 95 - 20 = 75$$

$$\Delta T_m = 100 - 60 = 40$$

$$\Delta T_{cp} = \frac{75 - 40}{\ln\left(\frac{75}{40}\right)} = 55,6^\circ\text{C}$$

Коэффициент теплопередачи в конденсаторе-холодильнике [3,9]

$$K = 335 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$$

Поверхность теплообмена конденсатора-холодильника составляет

$$F_{k-x} = \frac{54680,6}{335 \cdot 55,6} = 2,95 \text{ м}^2$$

С учетом коэффициента запаса 20% поверхность теплообмена конденсатора-холодильника составит

$$F = 3,5 \text{ м}^2.$$

Из расчета следует, что для заданных условий необходимо установить конденсатор-холодильник типа К-1-20, обеспечивая резерв поверхности.

Содержание отчета и его форма

В отчете студент должен дать расчетную схему, кратко осветить основные теоретические положения, отразить цель расчета и полученные результаты.

При защите выполненной работы студент должен представить отчет, ответить на вопросы преподавателя.

- 1 Какие хладагенты применяются в конденсаторах-холодильниках?
- 2 В чем преимущества воздушного конденсатора-холодильника?
- 3 Каков состав парогазового потока, который выводится с верха десорбера на установках гликолевой осушки природных газов?
- 4 Какая часть парогазового потока, покидающего десорбер, не конденсируется в конденсаторе-холодильнике и почему?
- 5 Чем отличается конденсатор-холодильник от холодильника?
- 6 Как определяется тепловая нагрузка конденсатора-холодильника?
- 7 Почему на установках гликолевой осушки природного газа можно использовать водяной конденсатор-холодильник?
- 8 Для чего при использовании воздушного конденсатора-холодильника применяют увлажнение воздуха?
- 9 Каким способом обеспечивается подача воздуха в АВО?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

РАСЧЕТ КИПЯТИЛЬНИКА УСТАНОВКИ ГЛИКОЛЕВОЙ ОСУШКИ ГАЗА

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой и познакомить с особенностями расчета теплообменной аппаратуры на установках гликолевой осушки газа.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

- 1 Назовите технологические параметры регенерации насыщенного гликоля?
- 2 Какие способы подвода тепла в десорбер применяются на установках гликолевой осушки природных газов?
- 3 Почему регенерацию насыщенного гликоля проводят под вакуумом?
- 4 Как влияет температура в десорбере на глубину регенерации гликоля?
- 5 Как влияет давление в десорбере на глубину регенерации гликоля?
- 6 Можно ли использовать регенерацию при атмосферном давлении для получения температуры точки росы осушенного газа минус 50°C? Почему?

Методические рекомендации

Теоретическое обоснование. Кипятильники (испарители) используются на установках гликолевой осушки природного газа для подвода тепла в нижнюю часть десорбера. В качестве горячего теплоносителя в испарителе, как правило, используется водяной пар.

Целью расчета кипятильника для регенерации гликоля на установках осушки газа является определение поверхности теплообмена и расхода водяного пара.

Исходные данные к расчету испарителя получаются в результате расчета десорбера, которого он обслуживает.

Допустимая температура регенерации для диэтиленгликоля 170°C и триэтиленгликоля – 210°C, т.к. при этих температурах разложение гликолей незначительно.

Технология регенерации должна обеспечить концентрацию гликолей, которая позволяет осушать газ в абсорбере до заданной проектом температуры точки росы.

Регенерация при атмосферном давлении – ТТР = -10°C, С_{дэг} = 97,5%. Регенерация под вакуумом – ТТР = -30°C, С_{дэг} = 98,0-99,5%.

Для создания вакуума в десорбере используется вакуум-насос для откачки неконденсирующегося газа, а также при конденсации водяных паров образуется вакуум. Может применяться эжектор, работающий за счет перепада давления насыщенного гликоля.

Расчет испарителя (кипятильника)

Расчетная схема процесса подвода тепла с помощью испарителя приводится на рисунке 5.

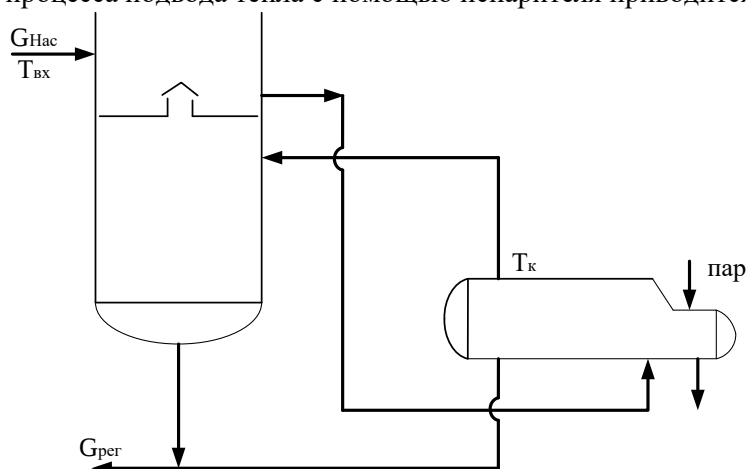


Рисунок 5 – Расчетная схема

Пример. Выполнить расчет кипятильника на установке гликолевой осушки газа при следующих данных.

1 Исходные данные:

- 1.1 количество насыщенного гликоля $G_{\text{нас}}=1523$ кг/ч;
- 1.2 концентрация насыщенного гликоля $C_{\text{гл}}=98\%$;
- 1.3 количество влаги, извлеченной из газа в абсорбере – $G_{\text{H}_2\text{O}}=23,68$ кг/ч;
- 1.4 температура в кипятильнике – $T_{\text{к}}=155^\circ\text{C}$;
- 1.5 температура ввода насыщенного гликоля в десорбер – $T_{\text{вх}}=90^\circ\text{C}$.

2 Алгоритм расчета.

Для регенерации гликоля в десорбер необходимо подвести тепло для нагрева насыщенного гликоля от 90°C до 155°C и испарения воды.

2.1 Первоначально определяется тепловая нагрузка кипятильника по уравнению (1).

$$Q_{\text{риб}} = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{исп}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{нагр}}$ - теплота, расходуемая на нагрев насыщенного гликоля от температуры входа в десорбер до температуры в низу аппарата, кДж/ч;

$Q_{\text{исп}}$ - теплота, расходуемая на испарение воды, кДж/ч.

В рибойлере для нагрева гликоля и испарения воды используется перегретый водяной пар. По справочным данным [1] параметры пара $T_{\text{пар}}=155^{\circ}\text{C}$ и $P_{\text{пар}}=5,579$ атм.

2.2 Теплота, расходуемая на нагрев насыщенного гликоля, рассчитывается по формуле (2).

$$Q_{\text{нагр}} = G_{\text{нас}} \cdot C_p^{\text{нас}} \cdot \Delta T \quad (2)$$

$C_p^{\text{нас}}$ – теплоемкость насыщенного гликоля, кДж/кг*град;

ΔT – разность температур насыщенного гликоля, $^{\circ}\text{C}$.

По справочным данным теплоемкость насыщенного раствора гликоля составляет (в зависимости от концентрации гликоля) $C_p^{\text{нас}}=2,85$ кДж/кг*град.

$$\Delta T = T_{\text{к}} - T_{\text{вх}} = 155 - 90 = 65^{\circ}\text{C}$$

Подставив найденные значения в формулу (2), получим

$$Q_{\text{нагр}} = 1523 \cdot 2,85 \cdot 65 = 282135,8 \text{ кДж/ч}$$

2.3 Теплота, расходуемая на испарение воды, определяется по уравнению (4)

$$Q_{\text{исп}} = G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot r_{\text{H}_2\text{O}} \quad (4),$$

где $r_{\text{H}_2\text{O}}$ – скрытая теплота испарения воды, кДж/кг.

По справочным данным [7, приложение Б] при 155°C $r_{\text{H}_2\text{O}}=2104,5$ кДж/кг.

$$Q_{\text{исп}} = 23,68 \cdot 2104,5 = 49834,6 \text{ кДж/ч}$$

Подставив найденные значения в уравнение (1), определим тепловую нагрузку кипятильника (испарителя).

$$Q_{\text{риб}} = 49834,6 + 282135,8 = 331970,4 \text{ кДж/ч}$$

2.4 Расход водяного пара в кипятильнике определяется по уравнению (5)

$$G_{\text{вп}} = \frac{Q_{\text{риб}}}{r_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (5)$$

$$G_{\text{вп}} = \frac{331970,4}{2104,5} = 157,7 \text{ кг/ч}$$

2.5 Для определения поверхности теплообмена испарителя необходимо прежде рассчитать средний температурный напор. Расчет проводится по формуле Грасгофа (6) (см. примеры выше).

Расчетная схема $T_1 \rightarrow T_2$ (пар)

$T_4 \leftarrow T_3$ (гликоль)

$$\Delta T_6 = T_1 - T_4 = 170 - 155 = 15^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{м}} = T_2 - T_3 = 100 - 90 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{\Delta T_6 - \Delta T_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta T_6}{\Delta T_{\text{м}}}\right)} \quad (6)$$

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{15 - 10}{\ln\left(\frac{15}{10}\right)} = 12,33^{\circ}\text{C}$$

2.6 Коэффициент теплопередачи для кипятильников в среднем составляет $K = 800$ кДж/м²*ч*град.

2.7 Поверхность теплообмена кипятильника составит

$$F_{\text{риб}} = \frac{Q_{\text{риб}}}{K \cdot \Delta T_{\text{ср}}}$$

$$F_{\text{риб}} = \frac{331970,4}{800 \cdot 12,33} = 33,7 \text{ м}^2$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ РАСЧЕТ АБСОРБЕРА УСТАНОВКИ ГЛИКОЛЕВОЙ ОСУШКИ ГАЗА

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой и познакомить с особенностями расчета теплообменной аппаратуры на установках гликолевой осушки газа.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

- 7 Назовите технологические параметры установки осушки газа гликолями.
- 8 Как обеспечивается подвод тепла в десорбер на установках гликолевой осушки природных газов?
- 9 Почему десорбер работает под вакуумом?
- 10 Зависимость глубины регенерации гликоля от температуры.
- 11 Можно ли использовать регенерацию при атмосферном давлении для получения температуры точки росы осушенного газа минус 5°C? Почему?

Методические рекомендации

Теоретическое обоснование. Влага, присутствующая в газе, осложняет его транспорт и переработку (коррозия, гидраты).

Температура, при которой происходит конденсация водяных паров, называется *точкой росы*. Точка росы соответствует максимальному содержанию водяных паров в газе при данном давлении.

Влагосодержание газа (абсолютная влажность) – масса водяных паров, находящихся в единице объема или в единице массы газа – г/м³ или г/кг.

Относительная влажность – отношение фактического содержания водяного пара к массе насыщенного пара, который мог бы находиться в данном объеме при тех же t и P (в%).

Для практического определения содержания воды в газе имеется номограмма равновесного влагосодержания природного газа при 20°C и 760 мм.рт.ст. С увеличением плотности газа и содержания солей влагосодержание уменьшается при прочих равных условиях. Присутствие H₂S и CO₂ в газе повышает влагосодержание природных газов, а N₂ – снижает влагосодержание.

Проблемы, обусловленные присутствием воды в газах.

1. Коррозия технологического оборудования.

Наличие влаги в газе приводит к тому, что могут протекать коррозионные процессы стального оборудования. Присутствие в газе кислых компонентов усугубляет процессы коррозии за счет образования сероводородной и угольной кислот.

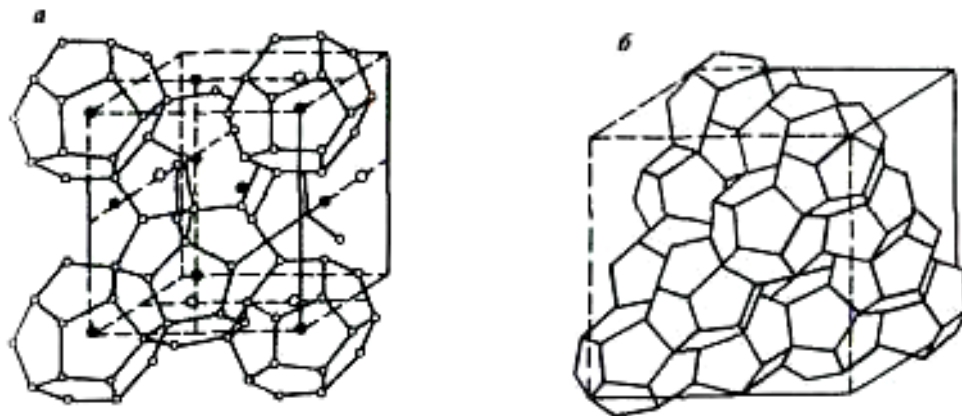
2. Гидратообразование.

Присутствие воды в газах приводит при определенных условиях к образованию газовых гидратов. Процесс гидратообразования осложняется нарушением технологического режима эксплуатации газодобывающего объекта: повышается давление, снижается пропускная способность.

Условия образования гидратов.

Газовые гидраты – кристаллические соединения, которые могут существовать в стабильном состоянии, являясь химическими соединениями. По внешнему виду гидраты напоминают сухой лед, их можно рассматривать как твердые растворы.

Образуются при наличии воды в жидкой фазе. Схема образования гидрата: молекулы воды с помощью водородных связей образуют объемный каркас. Каркас может быть образован из 46 молекул воды и содержит 8 полостей или 136 молекулами воды и содержит 16 малых и 8 больших полостей. В полостях этого каркаса располагаются молекулы газа, способные образовывать гидраты (CH₄, C₃, C₂, iC₄, H₂S, CO₂, N₂), а углеводороды, молекулы которых больше молекулы i-C₄, не могут проникать внутрь каркаса и не образуют гидратов. Степень заполнения каркаса молекулами гидратообразующих газов определяется для данного состава газа давлением и температурой. Кристаллы гидратов зарождаются на границе раздела фаз – «газ-вода». Гидраты метана, этана, диоксида углерода и сероводорода имеют формулу **M*6H₂O**, для пропана **C₃H₈*18H₂O**. Гидраты индивидуальных углеводородов сравнительно легко распадаются на газ и воду. Смешанные же гидраты (газ+вода) являются более устойчивыми.



Условия образования гидратов также зависят от содержания минеральных солей в воде – при увеличении минерализации воды температура начала гидратообразования уменьшается. Присутствие в газе H_2S повышает температуру гидратообразования. Для практического руководства имеется диаграмма образования гидратов в зависимости от t и P .

Методы борьбы с гидратообразованием.

1. Изменение термобарических условий переводит газ из насыщенного состояния в ненасыщенное, что исключает выпадение жидкой влаги и образование гидратов. Гидраты, образующиеся в скважинах, шлейфах, газопроводах или аппаратах разрушаются при снижении давления, при разогреве (подогрев газа паром, огневой или горячей водой), а также при вводе ингибиторов гидратообразования – веществ, понижающих температуру гидратообразования.

2. Ингибирование – введение в газовый поток веществ, понижающих температуру гидратообразования. В качестве ингибиторов гидратообразования используют метанол, гликоли, хлористый кальций, аммиак и др.

Действие метанола (как и всех других ингибиторов) как ингибитора гидратообразования основано на его высокой растворимости в воде. Он поглощает пары воды из газа и переводит их в раствор, при этом понижается температура точки росы.

Недостатки метанола как ингибитора гидратообразования: имеет высокое давление насыщенных паров (большие потери), его трудно регенерировать, поэтому его применяют в скважинах, шлейфах, газопроводах.

3. Осушка газа (удаление воды из газа) – это наиболее радикальный метод борьбы с гидратообразованием, т.к. он устраняет саму причину этого негативного процесса.

Существует четыре способа осушки газа:

- физическая осушка основана на охлаждении (вымораживание влаги из газа), так как снижение температуры при постоянном давлении снижает влагосодержание;
- абсорбционная осушка, т.е. поглощение влаги абсорбентом (жидким поглотителем);
- адсорбционная осушка;
- осушка комбинированием указанных выше способов.

Осушка охлаждением основана на том, что если при постоянном давлении охлаждать газ, то избыточная влага будет конденсироваться, а точка росы – соответственно снижаться.

Абсорбционная осушка газа основана на использовании влагопоглощающих абсорбентов – жидкостей. Для абсорбционной осушки газа используются водные Растворы хлорида кальция, хлорида или бромиды лития, окись бария, ангидрит CaSO_4 , метанол, но наиболее распространены в промышленности водные растворы гликолей (ЭГ, ДЭГ, ТЭГ, пропиленгликоль), т.к. эти реагенты обладают высокой гигроскопичностью, достаточно стабильны, умеренно опасны из-за малой летучести (3 класс опасности у ДЭГа и ПДК= 10мг/м³).

Выбор гликоля определяется его физическими показателями и экономикой.

Таблица 3 - Физические свойства химически чистых гликолей.

Показатель	ЭГ	ДЭГ	ТЭГ
Молекулярная масса	62,07	106,12	150,18
Плотность при 20 ⁰ С, кг/м ³	1116	1118	1126
Температура кипения при 101,3 кПа, ⁰ С	197,3	244,8	278,3
Температура начала разложения, ⁰ С	164	164	206
Скрытая теплота парообразования при 101,3 кПа, кДж/кг	796,2	628,1	367
Теплота растворения воды при 30 ⁰ С, кДж/кг	111,9	134,9	210
Вязкость при 20 ⁰ С, мПа*с	20,9	35,7	47,8
Давление насыщенных паров, кПа	1,31	0,19	0

Однако существенным недостатком гликолей является высокая растворимость в них углеводородов. Например, при Р = 150 ат в 1л гликоля растворяется 6 л газа.

Адсорбционная осушка состоит в избирательном поглощении поверхностью пор твердого адсорбента молекул воды с последующим извлечением их из пор внешними воздействиями (повышением температуры адсорбента или снижением давления среды).

Расчет абсорбера для осушки газа Уренгойского месторождения.

Пример. Выполнить проектный расчет абсорбера для осушки газа Уренгойского месторождения.

1 Исходные данные для расчета:

- 1.1 Производительность по газу $Q_f = 5$ млрд. м³/г (625 тыс м³/ч) ;
- 1.2 Температура газа + 27 ⁰С;
- 1.3 Давление газа в абсорбере Р=2,1 МПа;
- 1.4 Абсорбент – ТЭГ (водный раствор);
- 1.5 Точка росы осушенного газа $t_p = -10$ ⁰С.
- 1.6 Состав сырого газа представлен в таблице 4.

Таблица 4- Состав сырого газа.

Компоненты	Содержание компонента в газе, C_i , % мол.
CH ₄	97,84
C ₂ H ₆	0,10
C ₃ H ₈	0,030
C ₄ H ₁₀	0,020
C ₅ H ₁₂	0,010
CO ₂	0,30
N ₂	1,7
Σ	100,0

Целью расчета является определение количества абсорбента, материального баланса абсорбера, диаметра и высоты.

В расчетах делается допущение, что температура контакта в абсорбере температура газа и температура ввода абсорбента равны.

10 Алгоритм расчета.

Расчетная схема абсорбера для осушки газа Уренгойского месторождения приведена на рисунке 6.

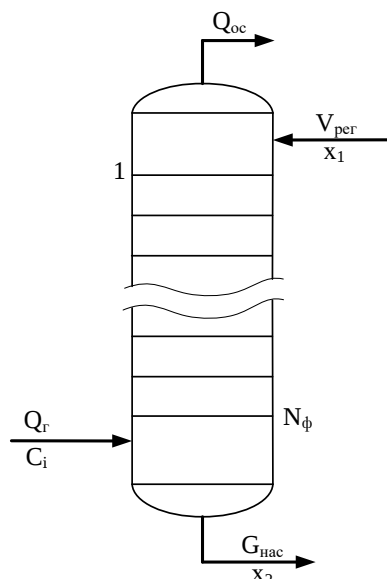


Рисунок 6 - Расчетная схема абсорбера

2.1 В зависимости от требуемой точки росы осушенного газа и температуры контакта по графику определяется концентрация ТЭГа, подаваемого на осушку ($G_{\text{рег.}}$).

При температуре контакта равной 27°C при использовании в качестве осушителя ТЭГ и температуре точки росы осушенного газа -10°C , концентрация ТЭГа в регенерированном абсорбенте составляет $x_1 = 98\%$.

Концентрация насыщенного раствора ТЭГа принимается равной $x_2 = 96,5\%$.

2.2 Количество влаги, извлекаемой из газа, для обеспечения заданной степени осушки определяется из выражения:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{г}} \cdot (W_1 - W_2), \quad (1)$$

где $Q_{\text{г}}$ - количество сырого газа, поступающего в абсорбер, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$;

W_1, W_2 - влагосодержание газа сырого и осушенного, $\text{г}/\text{м}^3$;

$G_{\text{H}_2\text{O}}$ - количество извлекаемой влаги, $\text{кг}/\text{ч}$.

Влагосодержание газа определяется в зависимости от температуры и давления по номограмме [приложение В].

При $P=2,1 \text{ МПа}$ и $t=27^{\circ}\text{C}$ $W_1=1,485 \text{ г}/\text{м}^3$;

При $P=2,1 \text{ МПа}$ и $t=-10^{\circ}\text{C}$ $W_2=0,152 \text{ г}/\text{м}^3$.

$G_{\text{H}_2\text{O}} = 625 \cdot (1,485 - 0,152) = 833,13 \text{ кг}/\text{ч}$

2.3 Количество регенерированного раствора ТЭГа определяется из выражения:

$$G_{\text{рег}} = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot x_2}{x_1 - x_2}$$

$$G_{\text{рег}} = \frac{833,13 \cdot 96,5}{98 - 96,5} = 53597,71 \text{ кг}/\text{ч}$$

2.4 Для определения объемного расхода регенерированного абсорбента используется выражение (2):

$$V_{\text{рег}} = \frac{G_{\text{рег}}}{\rho_{\text{рег}}}; \quad (2)$$

где $\rho_{\text{рег}}$ - удельный вес регенерированного гликоля, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$\rho_{\text{рег}} = \rho_{\text{ТЭГ}} \cdot C_{\text{ТЭГ}} + \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3)$$

где $C_{\text{ТЭГ}}, C_{\text{H}_2\text{O}}$ - концентрации ТЭГ и воды в регенерированном гликоле, об. доли.

$$\rho_{\text{рег}} = 1117 \cdot 0,98 + 1000 \cdot 0,02 = 1114,66 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\text{тогда } V_{\text{рег}} = \frac{53597,71}{1114,66} = 48,1 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

2.5 Количество насыщенного раствора ТЭГа определяется с учетом того, что при контакте газа с абсорбентом происходит растворение углеводородов в нем- $G_{\text{угл}}$, количество растворенных углеводородов зависит от температуры и давления и определяется по справочным данным [табл. Б.2]. Одновременно, в абсорбере наблюдается унос ТЭГа с газом вследствие того, что растворы ТЭГа обладают определенной упругостью паров. Определяется по номограмме ($g_{\text{гл}}$). Механический унос ТЭГа в расчетах не учитывается.

Количество насыщенного гликоля определяется из уравнения (4):

$$G_{\text{нас}} = G_{\text{рег}} + G_{\text{н2о}} + G_{\text{угл}} - G_{\text{гл}}, \quad (4)$$

где $G_{\text{угл}}$ - количество растворенных в абсорбенте углеводородов, кг/ч;

$G_{\text{гл}}$ - потери гликоля от испарения, кг/ч.

2.5.1 Растворимость природного газа в водном растворе ТЭГ на 25-30 % выше, чем для ДЭГ [7].

При низких давлениях осушки целесообразно применение водного раствора ТЭГа.

При давлении 2,1 МПа и температуре 27 °С $g_{\text{угл}} = 1,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ [7].

Тогда объем потерь углеводородов от их растворения в абсорбенте составит

$$V_{\text{угл}} = g_{\text{угл}} \cdot V_{\text{рег}} \\ V_{\text{угл}} = 1,6 \cdot 48,1 = 76,96 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для определения массы растворенного газа необходимо рассчитать его плотность при рабочих условиях:

$$\rho_z = \frac{M_z \cdot T_o \cdot P}{22,4 \cdot T \cdot P_o}; \quad (5)$$

где M_z - молекулярная масса газа;

22,4-мольный объем газа.

Результаты расчета молекулярной массы приведены в таблице 5.

Таблица 5- Расчет молекулярной массы сырого газа

Компоненты	Концентрация в сырье, C_i , %об	Количество $V_{ci} = \frac{C_i \cdot V_c}{100} \text{ м}^3/\text{ч}$	$M_{\text{ср}} = \sum M_i \cdot C_i$
CH ₄	97,840	611 500,00	15,6544
C ₂ H ₆	0,100	625,00	0,0380
C ₃ H ₈	0,030	187,50	0,0132
C ₄ H ₁₀	0,020	125,00	0,0116
C ₅ H ₁₂	0,010	62,50	0,0072
CO ₂	0,300	1 875,00	0,1320
N ₂	1,700	10 625,00	0,4760
Σ	100,000	625 000,00	16,3244

C_i - мольная доля компонента в газе.

После подстановки в уравнение (5) найденных значений плотность газа при рабочих условиях составит

$$\rho_z = \frac{16,3244 \cdot 273 \cdot 2,1}{22,4 \cdot (273 + 27) \cdot 0,1} = 13,92 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Тогда масса растворенных в абсорбенте углеводородов рассчитывается по уравнению (6)

$$G_{\text{угл}} = V_{\text{угл}} \cdot \rho_g; \quad (6)$$

и составит

$$G_{\text{угл}} = 76,96 \cdot 13,92 = 1071,17 \text{ кг/ч}$$

2.5.2 Потери гликолей на установках обусловлены их испарением, окислением, термическим разложением, капельным уносом с осушенным газом, разного рода утечками, а также растворимостью в жидких углеводородах.

Общие потери складываются за счет уноса с газом -80 %, конденсатом- 12%, утечек - 8% [7]. Для ТЭГа общие потери могут достигать 5 г/1000 м³.

Принимаем потери ТЭГа $g_{\text{гл}} = 5 \text{ г/1000 м}^3$.

Тогда, потери гликоля определяются из уравнения (7)

$$G_{\text{гл}} = g_{\text{гл}} \cdot Q_{\text{г}} \quad (7).$$

$$G_{\text{гл}} = 5 \cdot 625 = 3,125 \text{ кг/ч}$$

2.5.3 Количество насыщенного гликоля составит:

$$G_{\text{нас}} = 53\,597,71 + 833,13 + 1071,17 - 3,125 = 55\,505,12 \text{ кг/ч}$$

2.6 Количество осушенного газа определяется из уравнения (8):

$$G_{\text{ос}} = G_{\text{г}} - G_{\text{угл}} - G_{\text{н2о}} \quad (8)$$

$$G_{\text{э}} = \frac{Q_{\text{э}} \cdot M_{\text{э}}}{22,4};$$

где $Q_{\text{г}}$ - объемный расход газа, м³/ч;

$$G_{\text{э}} = \frac{625000 \cdot 16,33}{22,4} = 455636,16 \text{ кг / ч}$$

После подстановки найденных значений в уравнение (8), получим

$$G_{\text{ос}} = 455636,36 - 1071,17 - 833,13 = 453452,9 \text{ кг/ч}$$

2.7 Количество насыщенного гликоля определяется по уравнению (9)

$$G_{\text{нас}} = G_{\text{рег}} + G_{\text{н2о}} + G_{\text{угл}} - G_{\text{гл}} \quad (9)$$

$$G_{\text{нас}} = 55\,505,12 - 3,125 = 55\,502,01 \text{ кг/ч}$$

2.8 Материальный баланс

$$\begin{aligned} G_{\text{г}} + G_{\text{рег}} &= G_{\text{ос}} + G_{\text{нас}} \\ 455\,636,16 + 53\,597,71 &= 456\,452,9 + 55\,505,12 \\ 509\,233,87 \text{ кг/ч} &\neq 511\,958,02 \text{ кг/ч} \end{aligned}$$

При расчете дебаланс составляет 0,5% ($\Delta 2724,15 \text{ кг/ч}$), что укладывается в допустимые величины.

2.9 Для расчета диаметра абсорбера используется формула (10)

$$D = \sqrt{\frac{Q_{\text{г}} \cdot P_{\text{о}} \cdot T}{0,785 \cdot W_{\text{г}} \cdot P \cdot T_{\text{о}}}} \quad (10)$$

где $Q_{\text{г}}$ - секундный расход газа, м³/с;

$W_{\text{г}}$ - скорость газа в абсорбере, м/с.

Из опыта эксплуатации абсорберов осушки газа принимаем скорость газа в абсорбере $W_{\text{г}} = 0,3 \text{ м/с}$.

$$D = \sqrt{\frac{625000 \cdot 300 \cdot 1}{3600 \cdot 0,5 \cdot 273 \cdot 21}} = 4,3 \text{ м}$$

Т.к. производительность установки достаточно высокая, то целесообразно установить два параллельно работающих абсорбера меньшего диаметра. С учетом запаса по производительности принимаем диаметр каждого абсорбера, равным $D = 2,5 \text{ м}$.

2.10 Расчет числа теоретических тарелок.

При проектировании промышленных процессов осушки принято графическое определение числа теоретических тарелок [13].

2.10.1 Построение оперативной линии

Первоначально рассчитываются координаты крайних точек оперативной линии.

Первая точка: вход регенерированного гликоля и выход осушенного газа.

Абсцисса первой точки указывает сколько молей воды приходится на один моль регенерированного гликоля и определяется по уравнению, приведенному ниже (11).

$$x_1 = \frac{C_{H_2O} \cdot M_{ТЭГ}}{M_{H_2O} \cdot C_{ТЭГ}} \quad (11)$$

$$x_1 = \frac{0,02 \cdot 150,18}{18 \cdot 0,98} = 0,17 \text{ моль/моль}$$

x_1 - количество кмоль воды на один кмоль ТЭГ при вводе в аппарат гликоля.

Ордината первой точки указывает сколько молей воды приходится на один моль осушенного газа и определяется по уравнению (12)

$$y_2 = \frac{22,4 \cdot W_2}{1000 \cdot M_B} \quad (12)$$

$$y_2 = \frac{22,4 \cdot 0,152}{1000 \cdot 18} = 0,00019 \text{ моль/моль.}$$

Вторая точка - на выходе насыщенного гликоля и входе сырого газа.

Абсцисса второй точки указывает, сколько молей воды приходится на один моль насыщенного гликоля на выходе из аппарата и определяется по уравнению (13)

$$x_2 = \frac{C_{H_2O}^{нас} \cdot M_{ТЭГ}^{нас}}{M_{H_2O} \cdot C_{ТЭГ}^{нас}} \quad (13)$$

$$x_2 = \frac{(1 - 0,965) \cdot 118,5}{18 \cdot 0,965} = 0,24 \text{ моль/моль}$$

Ордината второй точки указывает, сколько молей воды приходится на один моль сырого газа и определяется по уравнению

$$y_1 = \frac{22,4 \cdot W_1}{M_{H_2O} \cdot 1000}$$

$$y_1 = \frac{22,4 \cdot 1,485}{18 \cdot 1000} = 0,0018 \text{ моль/моль}$$

Расчет молекулярной массы насыщенного раствора триэтиленгликоля представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Расчет молекулярной массы насыщенного раствора ТЭГ.

Компонент	Мольная масса	Количество		Содержание		$M_{г.н} = \sum M_i x'_i$
		$G_{нас},$ кг/ч	$ni = \frac{G_{нас}}{Mi},$ кмоль/г	$xi = \frac{gi}{\sum gi},$ масс. доли	$x'_i = \frac{ni}{\sum ni}$ мол.доли	
ТЭГ	150,18	53 597,71	356,89	0,965	0,7591	114,00
H ₂ O	18	833,13	46,285	0,015	0,0985	1,773
CH ₄	16	1071,17	66,95	0,020	0,1424	2,2784
Σ	-	55 502,01	470,125	1,00000	1,00000	118,05

Оперативная линия (АД) кривая 1 построенная по координатам А(x_1, y_2) и В(x_2, y_1) показана на рисунке 7.

2.10.2 Построение кривой равновесия

2.10.2.1 Первоначально задаемся концентрацией воды в абсорбенте x_i (1,2,3,4,5,6,7,9,10%).

2.10.2.2 После этого по графику (приложение Г) находим парциальное давление водяных паров в этих растворах гликоля.

2.10.2.3 Определяется молекулярная масса растворов гликоля заданной концентрации. Расчет выполняется по нижеприведенной формуле.

$$M_{cpi} = \frac{1}{\frac{x_i}{M_B} + \frac{1-x_i}{M_{ГЛ}}}$$

2.10.2.4 Заданную массовую концентрацию x_i следует пересчитать в молярную концентрацию x'_i . Для пересчета используется формула

$$x'_i = M_{cpi} \cdot \frac{x_i}{M_B};$$

2.10.2.5 Равновесная концентрация паров воды в газе y'_i будет определяться отношением парциального давления воды к давлению газа.

Результаты расчетов координат линии равновесия представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Расчет координат линии равновесия.

Концентрация воды в растворе x_i , масс. доли	Молярная масса раствора, M_{cpi}	Давление водяных паров в растворе, P_i , Па	Молярная концентрация воды в растворе $x'_i = M_{cpi} \cdot \frac{x_i}{M_B}$, кмоль/кмоль	Равновесная молярная концентрация водяных паров в газе $y'_i = \frac{P_i}{P}$, кмоль/кмоль
0,01	139,90	70	0,0777	0,000033
0,02	130,95	190	0,1455	0,000090
0,03	123,06	400	0,2051	0,000190
0,05	109,85	640	0,3051	0,000304
0,10	86,59	1050	0,4811	0,000500

Линия равновесия – кривая ряд 2. Построением ступенчатой линии от точки входа газа в аппарат и выхода раствора из аппарата (точка В) до точки выхода газа и входа раствора (точка А) определяется (с некоторым запасом) число теоретических тарелок $N_T = 2$.

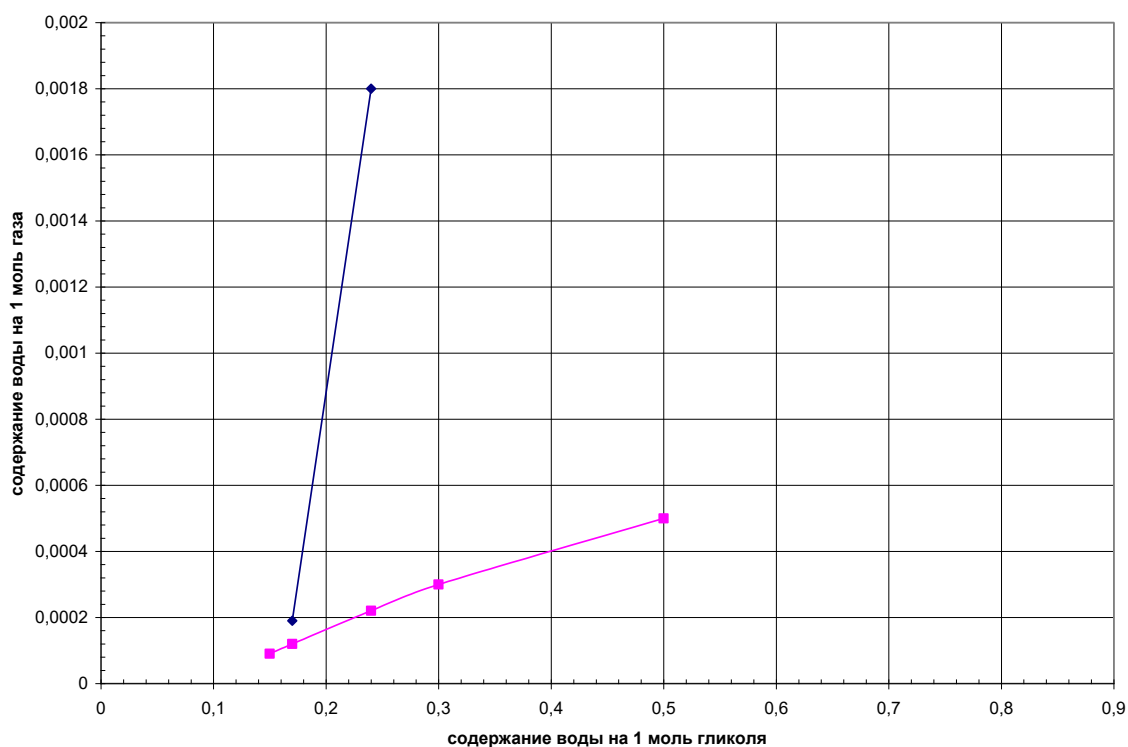


Рисунок 7 - Определение числа теоретических тарелок

2.11 Расчет числа рабочих тарелок в абсорбере.

Число рабочих тарелок в аппарате определяется с учетом КПД тарелки по формуле:

$$N_{\phi} = \frac{N_T}{\eta_T},$$

где η_T - К.П.Д. тарелок из S-образных элементов.

Обычно К.П.Д. тарелок в промышленных абсорберах гликолевой осушки лежит в пределах $\eta_T = 0,25-0,4$.

С учетом запаса и обеспечения эффективного массообмена принимается $\eta_T = 0,25$. Тогда, число фактических рабочих тарелок составит

$$N_{\phi} = \frac{2}{0,25} = 8$$

2.12 Расчет высоты аппарата.

Рабочая высота аппарата равна, м.:

$$H_p = h_1 + h_2 + h_3$$

где h_1 – высота нижней камеры аппарата;

h_2 – высота части аппарата, занятой тарелками;

h_3 – высота верхней камеры аппарата.

Высота h_1 нижней камеры колонны принимается равной 2 м.

Высота h_2 равна:

$$h_2 = (N_{\phi} - 1)h_T$$

$$h_2 = (8 - 1) \cdot 0,8 = 5,6 \text{ м.}$$

Высота верхней части h_3 принимается равной 3 м. Тогда:

$$H_p = 2 + 5,6 + 3 = 10,6 \text{ м.}$$

Принимаем высоту абсорбера $H_a = 11 \text{ м.}$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ СЕПАРАЦИИ ПЛАСТОВОЙ СМЕСИ

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

1. Опишите принцип работы гравитационного сепаратора
2. Основные области применения гравитационного сепаратора
3. Опишите принципы работы инерционного сепаратора
4. Опишите принципы работы центробежного сепаратора
5. Основные области применения центробежного сепаратора

Теоретическое обоснование

Гравитационные сепараторы

Осаждение дисперсных частиц в гравитационных сепараторах происходит под действием силы тяжести. Гравитационные сепараторы бывают горизонтальными, вертикальными и шарообразными. Общим для них является наличие отстойной (осадительной) зоны. Наиболее широко распространены на установках сепарации пластовой смеси горизонтальные трехфазные сепараторы, одна из упрощенных конструкций которых приведена на рис. 1.

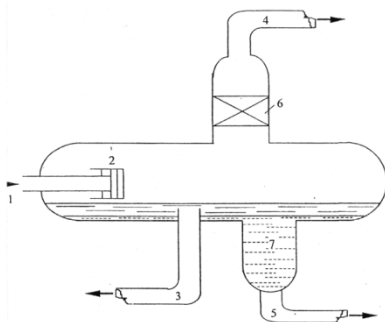


Рис. 1. Горизонтальный трехфазный сепаратор:

1- вход пластовой смеси; 2- отбойные пластины; 3- выход газового конденсата; 4- выход отсепарированного газа; 5- выход загрязненной пластовой воды; 6- сетчатый отбойный пакет; 7- встроенный сборник пластовой воды

Трехфазным сепаратор называется потому, что продуктами являются отсепарированный газ, углеводородный газовый конденсат и пластовая вода с механическими примесями. Кроме осадительной зоны, в гравитационных сепараторах имеются входная зона (отбойные пластины) и выходная (улавливающая) зона. В последней устанавливают каплеулавливающий сетчатый пакет или центробежные устройства для отделения унесенных капель жидкости от газа. Из гравитационного сепаратора имеются выходы газового конденсата и загрязненной механическими примесями пластовой воды. Газовый конденсат затем направляют на обезвоживание и обессоливание и далее на переработку, а загрязненная пластовая вода подвергается очистке от механических примесей и углеводородов и затем обычно закачивается обратно в пласт.

Конкретная конструкция гравитационных сепараторов выбирается с учетом таких факторов, как производительность по газу, давление, количество в газе механических примесей, требуемая степень очистки и др.

Инерционные сепараторы

Инерционные сепараторы представляют из себя аппараты, заполненные насадками с развитой удельной поверхностью контакта (от 10 до 500 м²/м³). Улавливание капель из потока газа происходит за счет их удара о поверхность насадки и резких многократных поворотов потока газа в каналах самой насадки.

В качестве насадки применяют кольца Рашига, многослойные жалюзи из пластин или уголков, а также сетчатые пакеты из рукавной, чулочно-вязанной сетки, изготовленной из

проволоки диаметром 0,25 мм. Степень улавливания капель такими сепараторами достигает 99%. Примером сетчатого инерционного сепаратора может служить сетчатый отбойный пакет 6 на рис. 1, а жалюзийного - отбойные пластины 2 на том же рисунке.

Жалюзийные сепараторы улавливают капли жидкости размером более 20 мкм, а сетчатые - от 5-10 мкм и выше. Поэтому сетчатые сепараторы обычно устанавливают на концевых участках схемы очистки газа.

Центробежные сепараторы

Центробежные сепараторы используют для отделения жидкости от газа центробежные силы, возникающие в предварительно закрученном потоке газа.

Существует два типа центробежных сепараторов, различающихся устройством, закручивающим поток, - циклонные и прямоточные (рис. 2, а и б). В первом случае поток газа входит в корпус сепаратора тангенциально (по касательной к боковой стенке аппарата) и завихряется вокруг центральной трубы, через которую отводится отсепарированный газ. Во втором случае вращательное движение потоку газа придает специальный завихритель. В обоих сепараторах капли жидкости отбрасываются к стенкам аппарата и стекают в сборники уловленной жидкости.

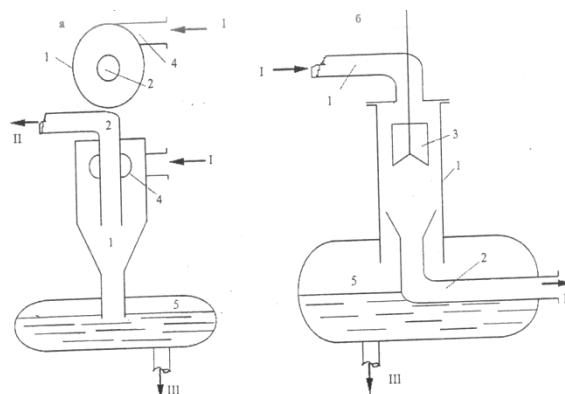


Рис. 2. Центробежные сепараторы пластовой смеси:

1- корпус; 2- газотводная труба; 3 - завихритель; 4 - вход для газа в корпусе; 5 - сборники уловленной жидкости; I- пластовая смесь; II- отсепарированный газ; III - уловленная жидкость и механические примеси

Центробежные сепараторы имеют эффективность до 90-95% и поэтому используются на входных участках для предварительной очистки газа, особенно если газ содержит много механических примесей.

Фильтрующие сепараторы

Фильтрующие сепараторы используют для окончательной тонкой очистки газа от частиц жидкости диаметром 0,5-10 мкм, не уловленных другими типами сепараторов. Одна из разновидностей такого сепаратора показана на рис. 3. Сепаратор включает три зоны сепарации - входную 1, фильтрующие элементы 2 и каплеуловитель 3.

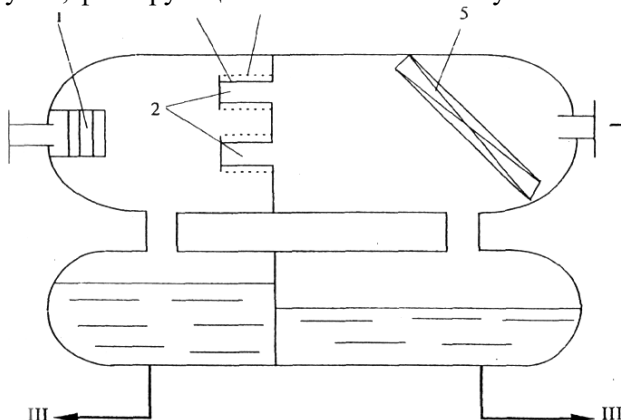


Рис. 3. Фильтрующий сепаратор

1- входная зона (отбойник); 2- фильтрующие элементы; 3 - каркас; 4 - фильтрующий материал; 5 - выходной сетчатый отбойник; I - вход газа; II - отсепарированный газ; III - углеводородная жидкость

Фильтрующие элементы представляют собой перфорированный патрубок - каркас 3, на котором уложен фильтрующий слой - тонкое стекловолокно, при прохождении через слой которого капли коалесцируют (сливаются), укрупняются и стекают в сборник. Диаметр фильтрующих элементов обычно составляет от 50 до 100 мм, а отношение их длины к диаметру - 12-15. Число таких элементов рассчитывают по найденной расчетным путем потребной площади фильтрации для данного расхода газа, обычно оно составляет 30-50 штук.

Очистка газа от механических примесей

Очистка природных газов от механических примесей осуществляется главным образом с помощью механических устройств. Различают методы сухой и мокрой газоочистки. Для сухой очистки применяются сухие пылеуловители: циклоны, осадительные аппараты и электрофильтры.

Действие циклона основано на использовании центробежной силы, возникающей вследствие ввода загрязненного газа с повышенной скоростью по касательной к аппарату и последующего его движения по спирали. Пыль, отбрасываемая центробежной силой к стенкам циклона, выводится через нижнее отверстие в бункер, а очищенный поток газа выходит по центральной трубе циклона. При большом количестве подлежащего очистке газа устанавливают группы циклонов по 4-8 штук. Применяются также циклоны батарейного типа, объединяющие в одном агрегате от нескольких десятков до сотен циклонов.

Осадительный аппарат представляет собой вертикальный или горизонтальный пустотелый цилиндр диаметром 0,5-1,5 м. Работа его основана на том, что в результате резкого уменьшения скорости движения газа частицы пыли под действием силы тяжести оседают на дно. При повышении давления в осадителе увеличивается плотность и вязкость газов и, следовательно, понижается скорость осаждения частиц. С повышением температуры в пылеуловителе уменьшается плотность и возрастает вязкость газа, однако изменение вязкости влияет меньше, чем изменение плотности, так что в результате скорость осаждения увеличивается. Таким образом, оптимальными условиями осаждения твердых частиц в осадительном аппарате являются пониженное давление и повышенная температура.

Наиболее эффективная очистка газа от пыли достигается в электрофильтрах. Действие их основано на ионизации газа, т.е. расщеплении его молекул на положительно и отрицательно заряженные ионы, которые движутся к противоположно заряженным электродам. При повышении разности потенциалов между электродами до нескольких тысяч вольт кинетическая энергия ионов и электронов настолько возрастает, что при соударениях они расщепляют встречные молекулы на ионы и газ полностью ионизируется. При этом наблюдается слабое свечение газа ("корона") вокруг проводника, который носит название коронирующего электрода. Ионы, имеющие тот же знак, что и коронирующий электрод, движутся к другому, осадительному электроду, который обычно соединен с положительным полюсом. При движении в запыленном газе отрицательные ионы сообщают заряд пылинкам и увлекают их к осадительным электродам. Частицы пыли отдают свои заряды осадительному электроду и опускаются под действием собственной тяжести или сбрасываются при встряхивании. Электрофильтры работают только на постоянном электрическом токе высокого напряжения (40-75 кВ). Для повышения электропроводности пыли и улучшения ее осаждения газ увлажняют. Имеются трубчатые и пластинчатые электрофильтры, степень очистки газа в них колеблется от 90 до 98%.

Мокрая газоочистка основана на тесном контакте потока запыленного газа с жидкостью (минеральным маслом). При этом твердые частицы удерживаются жидкостью. Для мокрой газоочистки применяют скрубберы, мокрые циклоны, вращающиеся промыватели и др. Скорость газа в свободном сечении скруббера может быть равной 0,5-1,5 м/сек. Скрубберы этого типа относятся к аппаратам средней степени очистки (80-90%). Более эффективны барботеры с колпачковыми распределителями. Скорость газа в них не превышает 0,25-0,35 м/сек, и масло интенсивно перемешивается с газом. Образуется большой объем пены, поэтому аппараты получили название пенных. Устройство однополочного пенного аппарата показано на рис. 4.

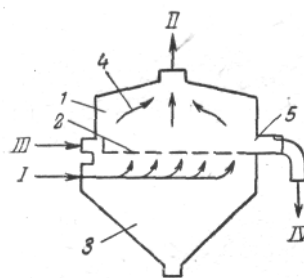


Рис. 4. Пенный аппарат

1 – корпус; 2 – колпачковый распределитель; 3 – бункер; 4 – приемная коробка; 5 – сливная коробка; I – запыленный газ; II – очищенный газ; III, IV – масло

Пенные аппараты улавливают 98-99% пыли с диаметром частиц более 5 мкм и 75-80% - с размером частиц менее 5 мкм.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ СТАБИЛИЗАЦИЯ ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

Цель. Развить у студентов навыки самостоятельной работы со справочной литературой.

Организационная форма занятия. Активная форма проведения занятия – разбор конкретных технологических схем и расчет оборудования, мастер-класс.

Вопросы для обсуждения

1. Опишите технологическую схему дегазации газового конденсата
2. Опишите технологию стабилизации конденсата ректификацией
3. Опишите типовую схему стабилизации конденсата с ректификацией
4. Опишите схему установки стабилизации конденсата с подачей отдувочного газа.

Теоретическое обоснование

Технология стабилизации конденсата дегазацией

Стабилизация газового конденсата дегазацией или сепарацией основана на снижении растворимости низкокипящих углеводородов в конденсатах при повышении температуры и понижении давления. Обычно такая технология процесса стабилизации применяется на месторождениях, имеющих низкий конденсатный фактор. Для стабилизации конденсата можно применять одно-, двух- и трехступенчатые схемы дегазации. Выбор количества ступеней зависит от содержания низкокипящих углеводородов в конденсате: чем оно больше, тем необходимо большее число ступеней. Это объясняется тем, что при увеличении числа ступеней доля отгона на каждой из них уменьшается, а уменьшение доли отгона влечет за собой и уменьшение уноса в газовую сферу целевых углеводородов конденсата.

Принципиальная технологическая схема установки стабилизации газового конденсата двухступенчатой дегазацией приведена на рис. 1. При ступенчатой дегазации газа давление на последующей ступени всегда меньше давления на предыдущей.

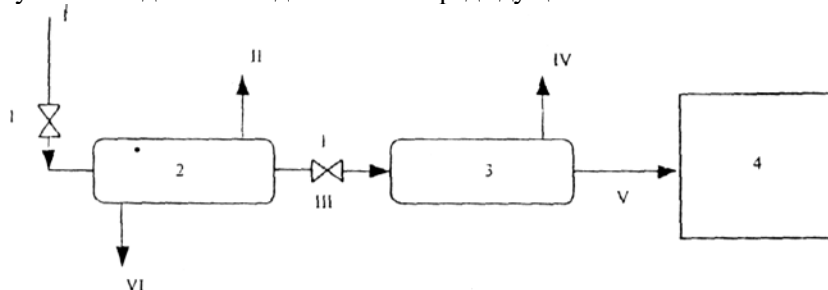


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема дегазации газового конденсата

1 - дроссели; 2,3 - сепараторы первой и второй ступени дегазации; 4 - товарная емкость

I - нестабильный конденсат; II - газы дегазации первой ступени;

III - разгазированный конденсат; IV - газы дегазации второй ступени;

V - конденсат в товарный парк; VI – вода

Основные преимущества схем дегазации - это простота технологии, низкие металло- и энергоемкость процесса. Основной недостаток - это нечеткое разделение углеводородов, одни из которых являются целевыми для газов стабилизации, а другие - для стабильного газового конденсата.

Технология стабилизации конденсата ректификацией

Сбор и утилизация газов дегазации конденсата связаны с большими энергетическими затратами, поэтому при больших объемах перерабатываемого конденсата применяют стабилизацию с использованием ректификационных колонн. Она имеет ряд преимуществ, в частности, энергия нестабильного конденсата рационально используется, полученный стабильный конденсат отличается низким давлением насыщенных паров и др. Ректификационная стабилизация газового конденсата проводится чаще всего в двух или трех колоннах, что дает возможность, кроме газов стабилизации и стабильного конденсата, получить пропан-бутановую фракцию (или пропан и бутан). На современных установках обычно применяют комбинирование процессов сепарации и ректификации, что позволяет повысить технологическую гибкость процесса и уменьшить энергозатраты.

На рис. 2 представлена принципиальная схема типовой установки стабилизации конденсата с использованием двух ректификационных колонн.

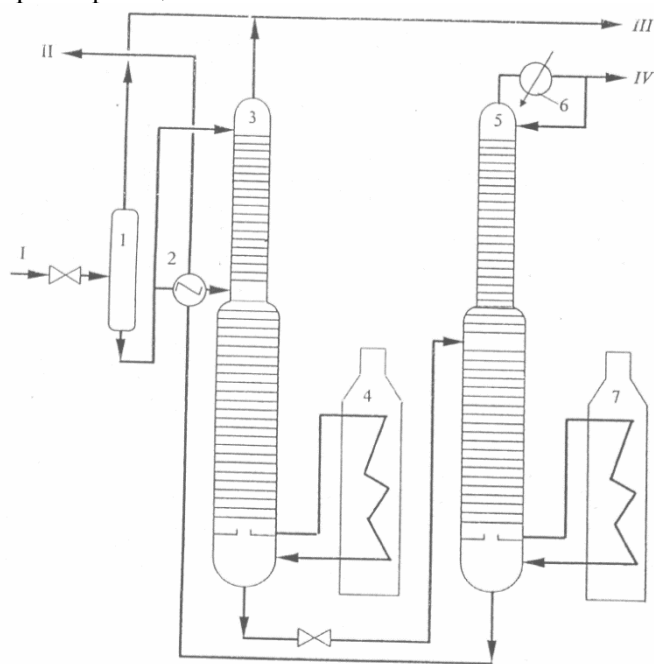


Рис. 2. Типовая схема стабилизации конденсата с ректификацией

I - нестабильный конденсат; II - стабильный конденсат; III - газы стабилизации; IV - ШФЛУ
1 - сепаратор; 2 - теплообменник; 3 - АОК; 4, 7 - трубчатые печи; 5 - стабилизатор;
6 - конденсатор-холодильник

Первой ступенью стабилизации по этой схеме является дегазация конденсата в сепараторе 1. Отсепарированная жидкость из сепаратора разделяется на два потока. Один из них нагревается в теплообменнике 2 и поступает в питательную секцию абсорбционно-отпарной колонны 3 (АОК); другой в качестве орошения подается на верхнюю тарелку АОК. Технологический режим в АОК следующий: давление 1,9-2,5 МПа; температура вверху 15-20°C, внизу - 170-180°C. Ректификатом АОК является фракция, состоящая в основном из метана и этана (III), остатком - деэтанализированный конденсат. Обычно газ сепарации из сепаратора 1 объединяют с верхним продуктом АОК и после дожатия направляют в магистральный газопровод. Деэтанализированный конденсат из АОК направляют в стабилизатор 5, работающий по схеме полной ректификационной колонны. С верха стабилизатора 5 отбирают пропан-бутановую фракцию (ПБФ) или широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ) IV, а из куба колонны отводят стабильный конденсат II. Давление в стабилизаторе 5 составляет 1,0-1,6 МПа. Для подвода тепла в кубы колонн 3 и 5 используют трубчатые печи.

На усовершенствованных установках стабилизации конденсата для повышения технологической гибкости и возможности переработки облегченного по фракционному составу конденсата из-за истощения месторождения газ сепарации из сепаратора 1 нагревают и подают в куб АОК как отдувочный газ (рис. 3).

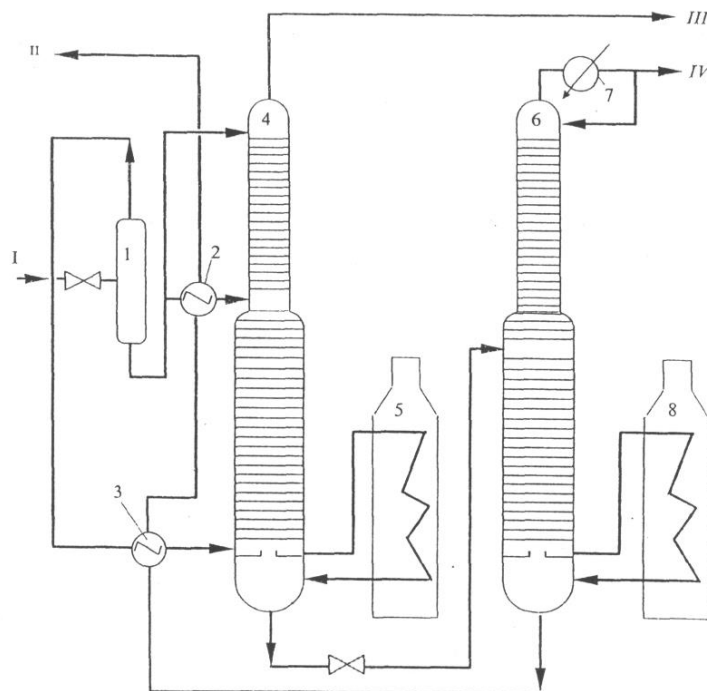


Рис. 3. Схема установки стабилизации конденсата с подачей отдувочного газа
 I - сырой конденсат; II - стабильный конденсат; III - газы стабилизации; IV - ШФЛУ
 1 - сепаратор; 2,3 - рекуперативные теплообменники; 4 - АОК; 5,8 - трубчатые печи;
 6 - стабилизатор; 7 - конденсатор-холодильник

Использование газа сепарации в качестве отдувочного позволяет в нижней части АОК снизить парциальное давление компонентов C_{3+} , вследствие чего снижаются необходимое паровое число и количество тепла, подводимого в трубчатой печи.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1 Физико-химические и токсикологические свойства сероводорода

Сероводород – простейшее соединение серы с водородом, при обычных условиях это бесцветный газ с характерным резким запахом тухлых яиц, тяжелее воздуха и имеет плотность 15 кг/м³.

Температура кипения -60,3 °С; теплота испарения 18,670 кДж/кмоль; температура плавления -85,5 °С; теплота плавления 2,380 кДж/кмоль; плотность сероводорода при нормальных условиях 1,5392 кг/м³.

Сероводород хорошо растворяется в воде, при нормальных условиях в одном объеме воды растворяется около трех его объемов. В органических растворителях растворимость сероводорода больше, чем в воде. Например, в этиловом спирте при 0°С растворимость сероводорода составляет 17,89 л/л, а при 20°С 7,42 л/л.

Теплота растворения H₂S в воде 19,246 кДж/кмоль. Теплоемкость газообразного H₂S в интервале 300—600 К рассчитывают по уравнению

$$C_p = 30,1 + 0,01506T,$$

где C_p — теплоемкость, кДж/(кмоль*К);

T — температура, К.

Сероводород взрывоопасен и токсичен. Пределы взрываемости сероводорода с воздухом находятся в интервале концентраций 4,5 – 45% об. ПДК в воздухе производственных помещений составляет 0,01 мг/л.

В связи с высокой токсичностью сероводорода его содержание в воздухе населенных пунктов ограничивается и устанавливаются нормативы на его содержание в воздухе рабочей зоны.

Предельно допустимая концентрация сероводорода в воздухе рабочей зоны ПДК_{H₂S} не более 0,01 мг/л, в смеси с углеводородами - 3мг/м³, в воздухе населенных пунктов 0,008 мг/м³. Запах сероводорода улавливается обонянием человека при его концентрации 0,001-0,002% об., а при концентрации 0,01% - появляются симптомы отравления: тошнота, одышка, сердцебиение, головокружение, резкая жгучая боль слизистых оболочек и др. При вдыхании воздуха, содержащего сероводород в количестве 0,2-0,3 мг/л, наступает острое отравление, выше 1 мг/л – летальный исход. На животных и птиц сероводород оказывает влияние при меньших концентрациях: голубь погибает в первые же минуты, попав в атмосферу с 0,07% H₂S, а канарейка погибает в течение 18-20 сек. Отравляющее действие сероводорода выше, чем окиси углерода.

2 Меры безопасности при работе с сероводородом

При работе с сероводородом следует соблюдать специальные меры предосторожности.

2.1 К работе с сероводородом допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе в химической лаборатории.

2.2 Студент должен изучить методику проведения лабораторной работы

2.3 В лаборатории надо руководствоваться следующим правилом: не проводить никаких работ кроме тех, которые заданы руководителем и для которых даны объяснения.

2.4 Все работы в лаборатории проводятся в спецодежде.

2.5 Все работы с сероводородом следует проводить под тягой.

2.6 В случае отравления сероводородом следует немедленно:

- поставить в известность преподавателя;
- вывести пострадавшего из лаборатории на свежий воздух;
- дать пострадавшему выпить горячего чая;
- в случае необходимости (обморочное состояние) сделать пострадавшему искусственное дыхание.

2.7 При использовании для подсветки при работе электрического освещения следует соблюдать соответствующие правила:

- нельзя пользоваться неисправными электрическими приборами;
- следить за тем, чтобы нигде не было оголенных проводов;
- при отключении приборов от сети нельзя вытаскивать вилку, дергая за шнур.

2.8 При работе с кислотами следует не допускать попадания кислоты на кожные поверхности. Если же кислота попала на кожные покровы, следует немедленно промыть поврежденное место большим количеством воды, после чего нейтрализовать раствором соды.

2.9 Не разрешается засасывать растворы реактивов в пипетки ртом, для этих целей следует использовать специальные резиновые груши.

3.0 Не допускается выполнение лабораторных работ при неисправной приточно-вытяжной вентиляции.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица Б.1 - Соотношение единиц СИ с другими единицами измерения

Величина	Единица измерения в СИ	Перевод в СИ единиц измерения другой системы
Сила	Н	1 кгс = 9,81 Н
Давление	Па (Н/м ²)	1 кгс/см ² = 98067 Па
		1 м вод. ст. = 9807 Па
		1 мм рт. ст. = 133,3 Па
Вязкость динамическая	Па · с	1 (кг · с)/м ² = 9,81 Па · с
		1 сП = 1 · 10 ⁻³ Па · с
Вязкость кинематическая	м ² /с	1 сСт = 1 · 10 ⁻⁶ м ² /с
		1 Ст = 1 · 10 ⁻⁴ м ² /с
Поверхностное натяжение	Н/м	1 дин/см = 1 · 10 ⁻³ Н/м
Количество теплоты	Дж	1 ккал = 4,187 кДж
Энтальпия, теплоты фазовых превращений, теплоты реакций	кДж/кг	1 ккал/кг = 4,187 кДж/кг
Теплоемкость массовая	кДж/(кг · °С)	1 ккал/(кг · К) = 4,187 кДж/(кг · °С)
Теплопроводность	Вт/(м · °С)	1 ккал/(м · ч · К) = 1,163 Вт/(м · °С)
Коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи	Вт/(м ² · °С)	1 ккал/(м ² · ч · К) = 1,163 Вт/(м ² · °С)
Теплонапряжение	Вт/(м ² · °С)	1 ккал/(м ² · ч) = 1,163 Вт/м ²

Таблица Б.2 - Растворимость газов в дистиллированной воде при нормальном давлении и различных температурах

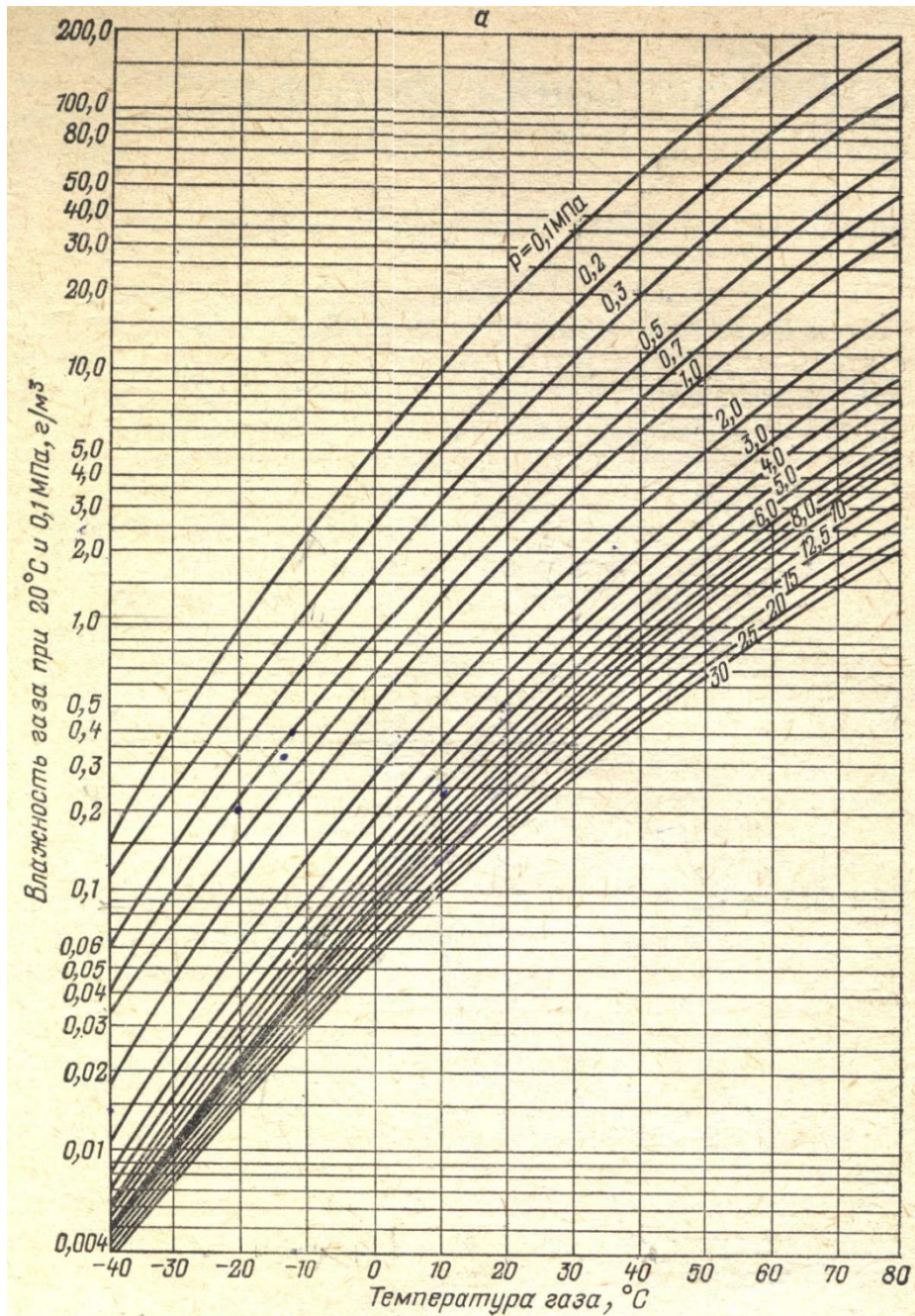
Газ	Растворимость газов в дистиллированной воде, м ³ /м ³ , при температуре			
	0 °С	20 °С	40 °С	60 °С
Метан	0,05563	0,03376	0,02369	0,01954
Этан	0,09874	0,04724	0,02915	0,02177
Пропан	-	0,03940	-	-
Норм. бутан	-	0,03270	-	-
Двуокись углерода	1,71300	0,87800	0,53000	0,35900
Сероводород	4,67000	2,58200	1,66000	1,19000

Таблица Б.3 - Физические свойства насыщенного водяного пара

Давление, ат	Температура, °С	Плотность, кг/м ³	Энтальпия жидкости, i'' · 10 ⁻³ , ккал/кг	Энтальпия пара, i''', ккал/кг	Теплота парообразования, г, ккал/кг
50	262,7	24,96	272,7	663,4	390,7
60	274,3	30,41	286,1	659,5	373,5
70	284,5	36,12	298,0	655,3	357,3
80	293,6	42,13	308,8	650,6	341,8
90	301,9	48,45	319,0	645,6	326,7
100	309,5	55,11	328,7	640,5	311,8
120	323,1	69,60	347,3	629,7	282,4

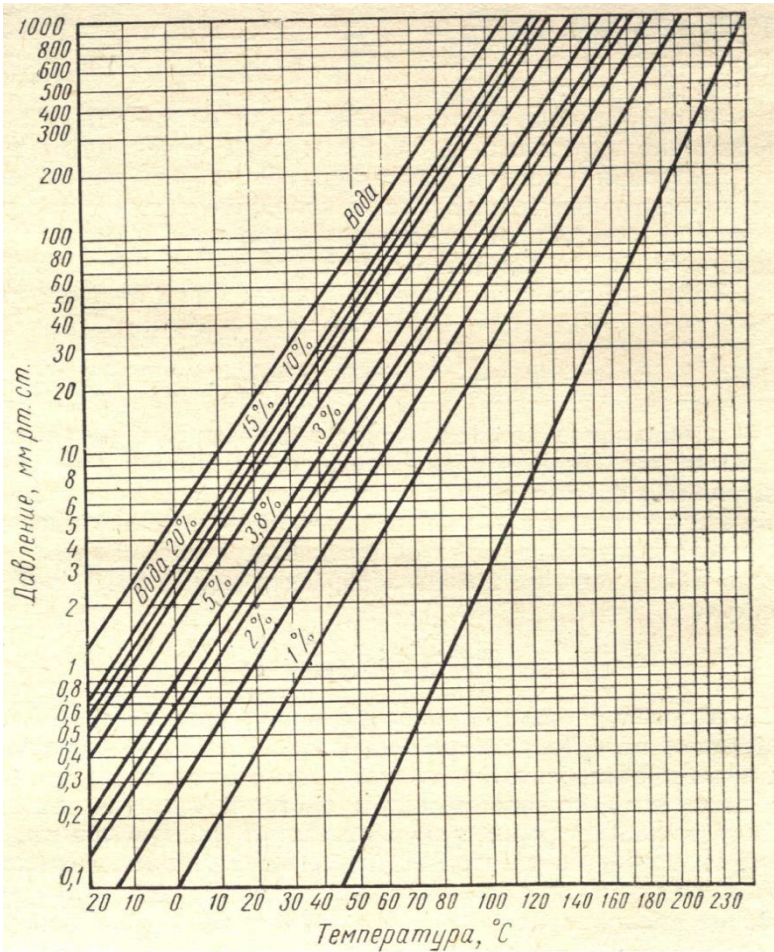
140	335,0	85,91	365,3	618,6	253,3
160	345,7	104,60	383,4	606,3	222,8
180	355,4	128,00	401,9	592,6	190,7
200	364,2	162,90	425,6	572,8	147,3
225	374,0	288,00	501,1	501,1	0

Приложение



Равновесная влажность природного газа при разных температурах и давлениях

Приложение



Зависимость парциального давления воды от температуры

Приложение

Таблица Д.1 – Потери ДЭГа по статьям при эксплуатации УКПГ

Месяц	Механический унос g_1 , г/1000 м ³	Потери ДЭГа в испаренном виде с осушенным газом g_2 , г/1000 м ³	Потери с дистиллятом в системе регенерации g_3 , г/1000 м ³	Потери с газом дегализации из выветривателя g_4 , г/1000 м ³	Потери из-за разложения в системе регенерации g_5 , г/1000 м ³	Утечки в коммуникациях и потери при ремонтных работах g_6 , г/1000 м ³	Потери при транспортировке и перекачке g_7 , г/1000 м ³
Январь	1,28	0,9	2,1	0,1	0,2	0,15	0,12
Февраль	1,49	0,9	2,4	0,1	0,2	0,15	0,12
Март	1,28	0,9	1,2	0,1	0,2	0,15	0,12
Апрель	0,81	0,9	2,0	0,1	0,2	0,15	0,12
Май	0,88	0,9	2,1	0,1	0,2	0,15	0,12
Июнь	0,35	0,9	1,4	0,1	0,2	0,15	0,12
Июль	0,65	0,9	2,8	0,1	0,2	0,15	0,12
Август	1,19	0,9	2,1	0,1	0,2	0,15	0,12
Сентябрь	1,28	0,9	2,5	0,1	0,2	0,15	0,12
Октябрь	1,02	0,9	2,9	0,1	0,2	0,15	0,12
Ноябрь	0,88	0,9	2,2	0,1	0,2	0,15	0,12
Декабрь	1,49	0,9	2,0	0,1	0,2	0,15	0,12

Таблица Д.2 – Суммарные потери ДЭГа на УКПГ

Месяц	Суммарные потери ДЭГа $\sum g_i$, г/1000 м ³
Январь	4,85
Февраль	5,36
Март	3,95
Апрель	4,28
Май	4,45
Июнь	3,22
Июль	4,92
Август	4,76
Сентябрь	5,25
Октябрь	5,39
Ноябрь	4,55
Декабрь	4,96

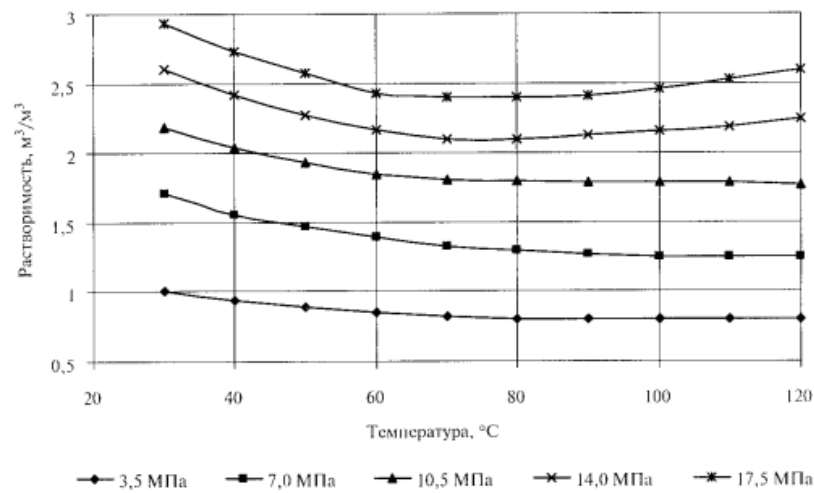


Рисунок Д.1 – Зависимость растворимости природного газа в пресной воде от температуры при различных давлениях

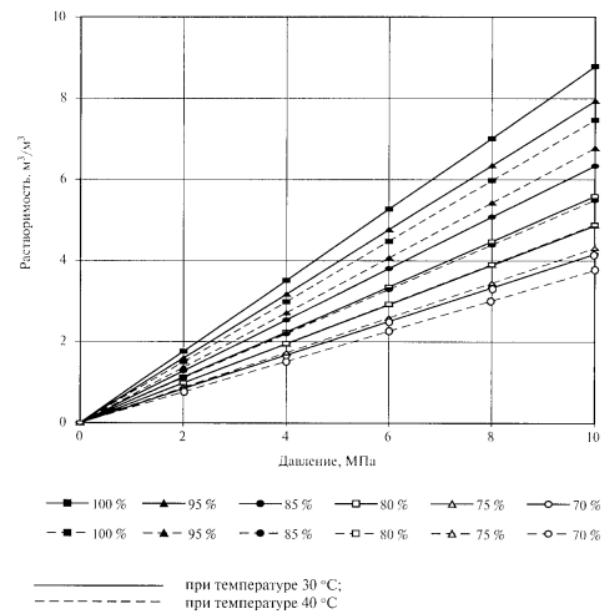


Рисунок Д.2 – Зависимость растворимости природного газа в растворах ДЭГа от давления при различных концентрациях и температурах 30 °C и 40 °C

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Аджиев, А. Ю. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России : в 2 ч. Ч.1 / А. Ю. Аджиев, П. А. Пуртов. – Краснодар : ЭДВИ, 2014. – 776 с. : ил. – Библиогр.: с. 761-775. – ISBN 978-5-906563-05-7.
2. Аджиев, А. Ю. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России : в 2 ч. Ч.2 / А. Ю. Аджиев, П. А. Пуртов. – Краснодар : ЭДВИ, 2014. – 508 с. : ил. – Библиогр.: с. 499-504. – ISBN 978-5-906563-05-7.
3. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учеб. пособие для вузов / С. А. Ахметов. – СПб. : Недра, 2013. – 544 с. : ил. – Библиогр.: с. 541. – ISBN 978-5-905153-44-2.
4. Гайле, А. А. Процессы разделения и очистки продуктов переработки нефти и газа : учеб. пособие / А. А. Гайле, В. Е. Сомов. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2012. – 376 с. : ил. – ISBN 978-5-93808-199-4.

Дополнительная литература:

1. Кидни, А. Дж. Основы переработка природного газа / А. Дж. Кидни, У.Р. Парриш, Д. Маккартни ; [пер. с англ. 2-го изд.] ; под ред. О. П. Лыкова, И. А. Голубевой. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2014. – 664 с. : ил. – ISBN 978-1-420-08519-8 (англ.). – ISBN 978-5-91884-055-9.
2. Мановян, А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа : учеб. пособие для вузов / А. К. Мановян. – 2-е изд., испр. – М. : Химия, 2001. – 568 с. : ил. – Библиогр.: с. 562-567. – ISBN 5-7245-1192-4.
3. Солодова, Н.Л. Химическая технология переработки нефти и газа ; учебное пособие [Электронный ресурс] / Н. Л. Солодова, Д. А. Халикова. - Казань : КНИТУ, 2012. - 122 с. - ISBN 978-5-7882-1220-3. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258408>.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ»

для студентов направления подготовки 18.04.01 Химическая технология
направленность (профиль) «Технология переработки нефти»

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Цели и задачи курсовой работы	4
Тематика курсовых работ	4
Структура и объем курсовой работы	5
Содержание курсовой работы	6
Оформление курсовой работы	6
Организация и контроль выполнения курсовой работы	7
Защита курсовой работы	7
Критерии оценивания работы	8
Список рекомендуемой литературы	9

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Химическая технология переработки углеводородных газов» является формирование набора профессиональных компетенций ПК-1, ПК-3, ПК-6 выпускника магистратуры по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология направленность (профиль) «Технология переработки нефти».

Основные задачи изучения дисциплины:

- заложить основу знаний по теории и практике процессов переработки природных газов;
- дать представления о физико-химических основах процессов, научить обосновывать параметры технологического режима;
- сформировать научный подход к подбору реагентов, сорбентов, катализаторов процессов;
- ознакомить с технологическими схемами и аппаратным оформлением процессов переработки природных газов.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа – обязательный вид учебной работы, выполняется студентом в течение семестра. Курсовая работа (проект) является самостоятельной исследовательской работой студента и представляет собой логически завершенное и оформленное научное исследование.

Цель курсового проектирования – формирование у студента навыков научно-исследовательской работы, повышение уровня его профессиональной (теоретической и практической) подготовки, углубление знаний по учебной дисциплине, развитие интереса и навыков самостоятельной работы с научной и справочной литературой.

Выполнение курсовой работы также имеет целью расширение знаний студентов, обучение методам теоретического анализа явлений и закономерностей науки, отработку навыков самостоятельного применения теоретических знаний к комплексному решению профессиональных задач, использования справочной литературы, методов математической обработки экспериментальных данных, компьютерных технологий. Системой курсовых работ (проектов) студент подготавливается к выполнению выпускной квалификационной работы.

В процессе выполнения курсовой работы студентом должны решаться следующие задачи:

- приобретение новых теоретических знаний в соответствии с темой работы и заданием руководителя;
- умение систематизировать, обобщать и логично излагать концепции, альтернативные точки зрения по исследуемой проблеме;
- развитие учебно-исследовательских и методических навыков, необходимых для системного научного анализа изучаемого явления;
- совершенствование профессиональной подготовки.

Результатом курсового проектирования является развитие компетенции: способность проводить технологические и технические расчеты по проектам, технико-экономический и функционально-стоимостный анализ эффективности проекта.

ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ РАБОТ

Темы курсовых работ (проектов) должны быть комплексными, т.е. содержать ряд взаимосвязанных между собой проблем и опираться на фактический материал профильных предприятий и учреждений, а также на итоги учебной и производственной практики студентов, на научные работы членов кафедры, студенческих научных кружков и проблемных групп; использовать новейшие достижения отечественной и зарубежной науки, актуальные прикладные аспекты.

Тема курсовой работы предлагается студентом с обоснованием им актуальности и целесообразности ее разработки. Также темы могут быть предложены специалистами промышленных предприятий, научных и проектных организаций, заинтересованных в их разработке.

Тематика курсовых работ по дисциплине «Химическая технология переработки углеводородных газов» должна соответствовать видам профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники магистратуры. В соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология к числу видов профессиональной деятельности относятся: научно-исследовательская, проектная. Тематика курсовых работ должна также отвечать современным требованиям развития науки, техники, производства в области нефтегазопереработки.

Примерная тематика курсовых работ:

1. Теоретические основы и технологическое оформление процесса абсорбционной осушки природного газа гликолями.
2. Теоретические основы и технологическое оформление процесса низкотемпературной сепарации природного газа.
3. Теоретические основы и технологическое оформление процесса низкотемпературной конденсации природного газа.
4. Теоретические основы и технологическое оформление процесса низкотемпературной абсорбции природного газа.
5. Теоретические основы и технологическое оформление процесса низкотемпературного отбензинивания попутного нефтяного газа.

6. Теоретические основы и технологическое оформление процесса стабилизации газового конденсата.
7. Теоретические основы и технологическое оформление процесса маслоабсорбционной установки отбензинивания попутного нефтяного газа.
8. Теоретические основы и технологическое оформление процесса очистки природного газа от кислых компонентов раствором поташа.
9. Теоретические основы и технологическое оформление процесса очистки природного газа от сероводорода раствором моноэтаноламина.
10. Теоретические основы и технологическое оформление процесса очистки природного газа от сероводорода раствором диэтаноламина.
11. Теоретические основы и технологическое оформление процесса адсорбционной осушки природного газа.
12. Теоретические основы и технологическое оформление процесса адсорбционного отбензинивания природного газа.
13. Теоретические основы и технологическое оформление процесса адсорбционной доочистки природного газа от кислых компонентов.
14. Теоретические основы и технологическое оформление процесса получения серы методом Клауса.
15. Теоретические основы и технологическое оформление процесса получения синтез-газа конверсией метана.

Темы курсовых работ утверждаются на заседании выпускающей кафедры в течение 2-х недель после начала семестра. Выписка из протокола заседания кафедры передается в деканат факультета, где формируется распоряжение об утверждении тем курсовых работ. В течение 10 дней после выхода распоряжения об утверждении тем курсовых работ специалист по учебно-методической работе деканата вносит темы работ в автоматизированную базу университета.

Основные содержательные и процессуальные аспекты, необходимые для выполнения работы, оформляются кафедрой в заданиях по курсовому проектированию. В заданиях необходимо четко сформулировать тему работы и требования, определяющие ее объем, содержание, а также исходные данные.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа должна полностью соответствовать утвержденной теме, содержать элементы новизны, быть актуальной, иметь научную и практическую значимость.

Курсовая работа имеет следующую структуру: титульный лист, задание, содержание, введение, основной текст, заключение, список используемой литературы, приложения.

Титульный лист содержит следующие сведения: название учредителя СКФУ, название университета, факультета, выпускающей кафедры, наименование темы курсовой работы, инициалы и фамилию автора работы с указанием курса, группы, формы обучения; ученую степень, звание, должность, инициалы и фамилию научного руководителя, дату защиты, выставленную оценку, место и год защиты.

Содержание включает названия разделов, подразделов работы с указанием страницы начала каждой части.

Введение содержит обоснование актуальности проблемы, цель и задачи исследования, формулировки теоретической и практической значимости работы.

Основной текст представлен, как правило, литературным обзором, эмпирическим и расчетным разделами. Разделы по содержанию должны быть логически связаны между собой и завершаться выводами.

В заключении содержатся выводы по работе в целом, перспективы дальнейшего изучения проблемы, связь с практикой.

Список используемой литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ к оформлению библиографии; в нем указываются все использованные студентом источники научно-технической литературы и документации.

В приложение входят таблицы, схемы, графики, диаграммы и другие материалы, иллюстрирующие или подтверждающие ход исследования, основные теоретические положения и выводы.

Рекомендуемый объем курсовой работы по дисциплине «Химическая технология переработки углеводородных газов» – не менее 40 страниц печатного (компьютерного) текста,

отпечатанного на стандартных листах А4 через полтора интервала стандартным шрифтом (тип – Times New Roman, размер 14 пт).

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа должна содержать ряд обязательных разделов, которые располагаются в определенном порядке: титульный лист; задание; содержание; введение; литературный обзор; эмпирический раздел; расчетный раздел; заключение; список используемой литературы.

Содержание включает наименования всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименования) работы с указанием их нумерации. Как правило, объем содержания не превышает 1 страницу печатного текста.

Введение содержит краткую характеристику и оценку современного состояния выбранного направления исследований, обоснование актуальности темы работы, формулировки цели и решаемых задач. Объем введения не должен превышать 1 страницы печатного текста.

Объем первого раздела – обзора имеющихся в научно-технической литературе сведений о проблеме исследований составляет до 15 страниц печатного текста. В разделе необходимо сжато, критически осветить известные работы, научные и технологические решения по теме курсовой работы, сформулировать нерешенные вопросы, наметить пути проработки конкретных задач. При написании литературного обзора следует использовать современные отечественные и зарубежные источники, широко привлекать сведения из научно-технических журналов и результаты патентного поиска.

Объем эмпирического раздела должен составлять до 15 страниц печатного текста. В разделе приводятся описания технологических схем, конструкций основных аппаратов, характеристики сырья, вспомогательных материалов, продуктов.

В расчетном разделе объемом до 20 страниц печатного текста на основе практических данных действующих производств или результатов научных исследований выполняется материальный расчет технологической установки и/или аппарата. Выполнение трудоемких технологических расчетов производится с использованием современных компьютерных программ.

В заключении приводятся выводы по работе в целом. Выводы должны строго соответствовать цели и задачам работы, сформулированным во введении, а также отражать научную и практическую ценность полученных результатов. Рекомендуемый объем заключения до 1 страницы печатного текста.

При написании курсовой работы автор обязан приводить ссылки на авторов и источники, из которых заимствует материалы, цитирует отдельные положения или использует результаты. В список используемой литературы допускается включать не только издания, которые были фактически использованы, но и названия близких по содержанию работ. Источники в списке следует располагать в порядке появления ссылок на них в тексте и нумеровать арабскими цифрами.

Приложения, если они необходимы, оформляют как продолжение курсовой работы на последующих ее страницах. В приложения следует включать вспомогательный материал, необходимый для полноты восприятия текста: таблицы данных; графики, схемы, поясняющие текст или необходимые для расчетов; иллюстрации вспомогательного характера.

Графический материал (схемы, рисунки, графики, таблицы), необходимый для защиты курсовой работы, представляется с использованием презентационной техники. Количество иллюстраций (слайдов) должно в полном объеме отражать основное содержание работы.

ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовые работы должны оформляться в соответствии с требованиями следующих государственных стандартов (ГОСТ) и нормативов: ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам; ГОСТ 2.106-96. Текстовые документы; ГОСТ 2.104-68. Основные надписи; Единая система конструкторской документации; Единая система технологической документации; Единая система программной документации; ГОСТ 7.32-2001. Отчет по научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления; ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание; ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов; ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления; ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления.

Курсовую работу оформляют с помощью средств компьютерной техники на одной стороне листа формата А4 (210x297 мм). Текст работы печатается с соблюдением полей следующих размеров: правое – 15 (10) мм; левое – 25 (30) мм; верхнее – 20 мм; нижнее – 20 мм. Используется шрифт Times New Roman чёрного цвета, размер шрифта – 14 пт, межстрочный интервал – полуторный, абзацный отступ – 1,25 см. В таблицах и подписях к рисункам допускается использование размера шрифта 12 пт.

Каждый раздел курсовой работы должен начинаться с новой страницы и иметь порядковый номер. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. Номера пунктов состоят из номера раздела, подраздела, пункта, разделенных точкой.

Разделы, подразделы, пункты должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов, пунктов. Заголовки следует выравнивать по центру, писать строчными буквами, кроме первой, заглавной, без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Все структурные элементы курсовой работы включают в общую нумерацию страниц. Листы (страницы) работы нумеруют арабскими цифрами, номер проставляют в верхнем правом углу страницы. На титульном листе и задании номер не проставляют.

Ссылки на литературные источники следует указывать порядковым номером по списку источников, выделенным двумя квадратными скобками. При необходимости ссылки на конкретный фрагмент текста источника в квадратных скобках проставляют номер источника и номер страницы, на которой помещен фрагмент, например: [18, т.1, с. 753]. При ссылках в тексте на стандарты указывают только их обозначение, например: ГОСТ 2.201.

ОРГАНИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Руководство курсовыми работами поручается наиболее квалифицированным преподавателям кафедры, обладающим научно-методическим опытом. В методических указаниях должны быть определены задачи работы, характер исходных данных, примерный объем и содержание отдельных частей, а также порядок выполнения курсового исследования.

Руководство курсовыми работами начинается с выдачи задания студентам. В этот период необходимым условием, обеспечивающим эффективность дальнейшего руководства, является индивидуальная беседа руководителя со студентом по заданию. В ходе беседы руководитель должен выяснить степень подготовленности студента к выполнению данного задания, рекомендовать необходимую литературу и информировать о порядке выполнения задания.

Задание выдается за подписью руководителя работы, датируется днем выдачи, утверждается заведующим кафедрой и регистрируется в кафедральном журнале.

В рамках отведенного для руководства курсовыми работами времени должны регулярно проводиться индивидуальные консультации.

Одной из важных форм руководства является предварительный просмотр выполненной части курсовой работы. Руководитель, прежде всего, должен провести экспертизу выполненной части работы, а затем указать все ошибки, неточности. После проверки руководителем выполнения одного этапа работы студенту (в случае положительного заключения) разрешается перейти к следующему этапу.

Курсовая работа перед сдачей руководителю подписывается студентом. Если работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к курсовым работам, она допускается к защите, о чем руководитель делает соответствующую запись на титульном листе.

ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Защита работы является обязательной формой проверки выполнения курсовой работы. Защита производится на заседании кафедры, научно-методического семинара кафедры, научной проблемной группы специальной комиссией, утверждаемой деканом факультета, состоящей обычно из 3 преподавателей кафедры, при непосредственном участии руководителя, в присутствии студентов. Результаты наиболее интересных курсовых работ могут быть доложены на научных конференциях. Публичная защита стимулирует научный интерес, творчество, ответственность студентов.

Защита состоит в коротком докладе студента по выполненной работе и в ответах на вопросы присутствующих на защите. Научный руководитель зачитывает отзыв на курсовую работу студента.

Результаты защиты курсовой работы, согласно действующему Положению о текущем контроле и промежуточной аттестации в СКФУ, оцениваются дифференцированной отметкой по пятибалльной системе. Оценка курсовой работы заносится в зачетную книжку студента и зачетно-экзаменационную ведомость, составляемую в 2-х экземплярах, один из которых хранится на кафедре в течение всего срока обучения студента, другой представляется в дирекцию института.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РАБОТЫ

При оценке курсовой работы учитывается уровень сформированности компетенций по следующим критериям:

- глубина анализа проблемы, уровень ее теоретической проработки;
- объем и качество экспериментальных исследований;
- самостоятельность разработки;
- полнота и качество вносимых предложений по рассматриваемой проблеме;
- степень владения современными программными продуктами и компьютерными технологиями;
- качество презентации результатов работы;
- навыки публичной дискуссии, защиты научных идей, предложений и рекомендаций;
- общий уровень культуры общения с аудиторией;
- готовность к практической деятельности в области нефтегазопереработки;
- отзыв руководителя.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он имеет положительный отзыв руководителя, при защите демонстрирует:

- глубину анализа проблемы, высокий уровень ее теоретической проработки; полноту и качество вносимых предложений по рассматриваемой проблеме; высокое качество презентации результатов работы; высокий уровень культуры общения с аудиторией;
- умение обосновать объем и обеспечить качество экспериментальных исследований; возможность внедрения результатов работы в производство; готовность к практической деятельности в области нефтегазопереработки;
- владение современными программными продуктами и компьютерными технологиями; навыками самостоятельной разработки проблемы; публичной дискуссии, защиты собственных научных идей, предложений и рекомендаций.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он имеет положительный отзыв руководителя, при защите демонстрирует:

- хороший уровень теоретической проработки проблемы; полноту вносимых предложений по рассматриваемой проблеме; качество презентации результатов работы; уровень культуры общения с аудиторией;
- умение обеспечить качество экспериментальных исследований; возможность внедрения результатов работы в производство; готовность к практической деятельности в области нефтегазопереработки;
- владение современными компьютерными технологиями; навыками разработки проблемы; публичной дискуссии, защиты собственных научных идей, предложений и рекомендаций.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет положительный отзыв руководителя, при защите демонстрирует:

- недостаточно высокие уровень теоретической проработки проблемы, качество вносимых предложений, качество презентации результатов работы; средний уровень культуры общения с аудиторией;
- готовность к практической деятельности в области нефтегазопереработки; испытывает затруднения при обосновании объема экспериментальных исследований, возможности внедрения результатов работы в производство;
- владение современными компьютерными технологиями, навыками разработки проблемы с помощью руководителя; испытывает затруднения в ходе публичной дискуссии, защиты собственных предложений и рекомендаций.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет отзыв руководителя с серьезными замечаниями, при защите демонстрирует:

- недостаточные уровень теоретической проработки проблемы, качество вносимых предложений, качество презентации результатов работы, уровень культуры общения с аудиторией;
- испытывает затруднения при обосновании объема экспериментальных исследований,

- недостаточно подготовлен к практической деятельности в области нефтегазопереработки;
- слабое владение современными компьютерными технологиями, навыками разработки проблемы; испытывает затруднения в ходе публичной дискуссии.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Аджиев, А. Ю. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России : в 2 ч. Ч.1 / А. Ю. Аджиев, П. А. Пуртов. – Краснодар : ЭДВИ, 2014. – 776 с. : ил. – Библиогр.: с. 761-775. – ISBN 978-5-906563-05-7.
2. Аджиев, А. Ю. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России : в 2 ч. Ч.2 / А. Ю. Аджиев, П. А. Пуртов. – Краснодар : ЭДВИ, 2014. – 508 с. : ил. – Библиогр.: с. 499-504. – ISBN 978-5-906563-05-7.
3. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учеб. пособие для вузов / С. А. Ахметов. – СПб. : Недра, 2013. – 544 с. : ил. – Библиогр.: с. 541. – ISBN 978-5-905153-44-2.
4. Гайле, А. А. Процессы разделения и очистки продуктов переработки нефти и газа : учеб. пособие / А. А. Гайле, В. Е. Сомов. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2012. – 376 с. : ил. – ISBN 978-5-93808-199-4.

Дополнительная литература:

1. Кидни, А. Дж. Основы переработка природного газа / А. Дж. Кидни, У.Р. Парриш, Д. Маккартни ; [пер. с англ. 2-го изд.] ; под ред. О. П. Лыкова, И. А. Голубевой. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2014. – 664 с. : ил. – ISBN 978-1-420-08519-8 (англ.). – ISBN 978-5-91884-055-9.
2. Мановян, А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа : учеб. пособие для вузов / А. К. Мановян. – 2-е изд., испр. – М. : Химия, 2001. – 568 с. : ил. – Библиогр.: с. 562-567. – ISBN 5-7245-1192-4.
3. Солодова, Н.Л. Химическая технология переработки нефти и газа ; учебное пособие [Электронный ресурс] / Н. Л. Солодова, Д. А. Халикова. - Казань : КНИТУ, 2012. - 122 с. - ISBN 978-5-7882-1220-3. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258408>.

Интернет-ресурсы:

1. <http://biblioclub.ru> – Университетская библиотека онлайн.
2. <http://e.lanbook.com> – Издательство «Лань».
3. <http://www.rsl.ru> – Российская государственная библиотека.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ»**

для студентов направления подготовки 18.04.01 Химическая технология
направленность (профиль) «Технология переработки нефти»

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Цели и задачи самостоятельной работы магистрантов	4
Виды самостоятельной работы магистрантов	4
Самостоятельное изучение теоретического материала	5
Самостоятельное выполнение заданий	5
Иные формы самостоятельной работы	5
Контроль самостоятельной работы магистрантов преподавателями	6
Критерии оценки результатов самостоятельной работы	6
Список рекомендуемой литературы	6

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Химическая технология переработки углеводородных газов» является формирование набора профессиональных компетенций ПК-1, ПК-3, ПК-6 выпускника магистратуры по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология направленность (профиль) «Технология переработки нефти».

Основные задачи изучения дисциплины:

- заложить основу знаний по теории и практике процессов переработки природных газов;
- дать представления о физико-химических основах процессов, научить обосновывать параметры технологического режима;
- сформировать научный подход к подбору реагентов, сорбентов, катализаторов процессов;
- ознакомить с технологическими схемами и аппаратным оформлением процессов переработки природных газов.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ МАГИСТРАНТОВ

Реализация образовательной программы подготовки магистрантов должна обеспечиваться доступом каждого обучающегося к библиотечным фондам и базам данных, формируемым по полному перечню дисциплин образовательной программы. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем циклам дисциплин и постоянно пополняться научной литературой и периодическими изданиями химико-технологического профиля. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны быть обеспечены доступом к сети Интернет.

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

- в рабочем учебном плане – в целом по образовательной программе, по каждому блоку, по дисциплине (модулю);
- в рабочих программах учебных дисциплин (модулей) с распределением по разделам или конкретным темам.

Под самостоятельной работой магистрантов понимается планируемая учебная, учебно-исследовательская, а также научно-исследовательская работа, которая выполняется во внеаудиторное время по инициативе магистра или по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирования практических умений и навыков;
- развития исследовательских умений.

Задачи самостоятельной работы:

- овладение теоретическими знаниями о современных научно-технических и практических проблемах технологии переработки нефти;
- формирование опыта собственной поисковой, творческой, научно-исследовательской деятельности.

Самостоятельная работа способствует развитию ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального (в том числе научного) уровня.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ МАГИСТРАНТОВ

Основными видами самостоятельной учебной деятельности магистрантов являются:

- 1) предварительная подготовка к аудиторным занятиям, в том числе к тем, на которых будет изучаться новый, незнакомый материал;
- 2) своевременная проработка конспектов лекций;
- 3) подбор, изучение, анализ и, при необходимости, конспектирование рекомендованных литературных источников;
- 4) выяснение наиболее сложных, непонятных вопросов и их уточнение во время консультаций;
- 5) подготовка к зачету или экзамену;
- 6) выполнение собственных научных исследований, либо участие в научных исследованиях, проводимых на кафедре;
- 7) систематическое изучение периодической печати, научных монографий, поиск и анализ дополнительной информации по учебным дисциплинам.

Виды самостоятельной работы по дисциплине могут быть разделены на основные (аудиторные) и дополнительные (внеаудиторные).

Основные виды самостоятельной работы выполняются в обязательном порядке с последующим контролем результатов преподавателем, который проводит практические занятия.

Дополнительные (внеаудиторные) виды самостоятельной работы выполняются по выбору

магистра и заданию преподавателя без его непосредственного участия. Дополнительные виды самостоятельной работы по дисциплине рекомендуются тем магистрам, которые наиболее заинтересованы в изучении дисциплины.

К основным (обязательным) видам самостоятельной работы магистрантов при изучении дисциплины относятся:

- а) самостоятельное изучение теоретического материала;
- б) подготовка к практическим занятиям.

Дополнительными видами самостоятельной работы являются:

- а) подготовка презентаций по практическим занятиям;
- б) подготовка докладов и сообщений для выступления на занятиях;
- в) участие в ежегодной научно-технической конференции.

Дополнительные виды самостоятельной работы не являются обязательными и выполняются магистрами по собственной инициативе с предварительным согласованием с преподавателем, либо при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Самостоятельное изучение теоретического материала по дисциплине предусмотрено на всём протяжении курса. Такая работа сопровождает лекционные и практические занятия, текущий контроль и промежуточную аттестацию, и в то же время является отдельным видом самостоятельной работы.

Источники для самостоятельного изучения теоретического материала по дисциплине:

- учебники по предмету;
- курсы лекций по предмету;
- учебные пособия по отдельным темам;
- научные статьи в периодической печати и рекомендованных сборниках;
- научные монографии.

Умение магистрантов быстро и правильно подобрать литературу, необходимую для выполнения учебных заданий и научной работы, является залогом успешного обучения. Самостоятельный подбор литературы осуществляется при подготовке к практическим занятиям, при написании научных рефератов.

Выполнение самостоятельной работы на занятиях с проверкой результатов преподавателем позволяет магистрам усваивать изучаемый материал более глубоко, меняется отношение к лекциям, так как без понимания теории предмета, без хорошего конспекта трудно рассчитывать на успех в решении заданий. Это улучшает посещаемость как практических, так и лекционных занятий.

Для успешного освоения дисциплины необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЙ

Задания для самостоятельной работы преимущественно содержатся в учебно-методическом комплексе дисциплины (практикум). Сдача выполненного задания производится преподавателю, ведущему практические занятия, в установленные сроки.

ИНЫЕ ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

К иным формам самостоятельной работы магистрантов относятся: подготовка сообщений, докладов, выступлений на «круглых столах», семинарах, конференциях. Если преподаватель поручил магистру подготовить доклад к семинару, сообщение или иное выступление, то самостоятельная работа по их написанию может проходить в следующей последовательности.

1. Нужно подобрать литературу, проконсультироваться у преподавателя по содержанию предстоящего доклада (выступления).
2. Необходимо изучить литературу, сгруппировать материал и составить подробный план доклада (выступления).
3. Следует написать полный текст доклада (выступления). Для выступления с докладом обычно отводится 10-12 минут, поэтому все содержание доклада должно быть не более 7-10 страниц.
4. Магистру рекомендуется продумать методику чтения доклада. При возможности следует

подготовить доклад с презентацией или раздаточным материалом.

5. Важно потренироваться в чтении доклада.

КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ МАГИСТРАНТОВ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМИ

Оценка самостоятельной работы магистранта влияет на итоговую оценку по дисциплине следующим образом: во-первых, оценка самостоятельной работы учитывается в такой форме текущего контроля, как опрос на практических занятиях; во-вторых, самостоятельная работа по предмету поощряется, и преподаватель может использовать (и, как правило, использует) оценку самостоятельной работы в качестве поощрительной составляющей на зачете или экзамене; в спорных моментах оценка самостоятельной работы может разрешить ситуацию в пользу обучающегося.

Контроль самостоятельной работы магистрантов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Основные формы контроля самостоятельной работы магистранта преподавателем:

1. просмотр и проверка продукта самостоятельной работы преподавателем;
2. самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе;
3. обсуждение результатов выполненной работы на занятии;
4. письменный опрос;
5. индивидуальное собеседование.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Независимо от вида самостоятельной работы критериями оценки могут считаться:

- уровень освоения магистром учебного материала;
- умение магистранта использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- умение магистранта активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить информацию, изучать ее и применять на практике;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- обоснованность и четкость изложения материала;
- оформление материала в соответствии с требованиями.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Аджиев, А. Ю. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России : в 2 ч. Ч.1 / А. Ю. Аджиев, П. А. Пуртов. – Краснодар : ЭДВИ, 2014. – 776 с. : ил. – Библиогр.: с. 761-775. – ISBN 978-5-906563-05-7.
2. Аджиев, А. Ю. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России : в 2 ч. Ч.2 / А. Ю. Аджиев, П. А. Пуртов. – Краснодар : ЭДВИ, 2014. – 508 с. : ил. – Библиогр.: с. 499-504. – ISBN 978-5-906563-05-7.
3. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учеб. пособие для вузов / С. А. Ахметов. – СПб. : Недра, 2013. – 544 с. : ил. – Библиогр.: с. 541. – ISBN 978-5-905153-44-2.
4. Гайле, А. А. Процессы разделения и очистки продуктов переработки нефти и газа : учеб. пособие / А. А. Гайле, В. Е. Сомов. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2012. – 376 с. : ил. – ISBN 978-5-93808-199-4.

Дополнительная литература:

1. Кидни, А. Дж. Основы переработки природного газа / А. Дж. Кидни, У.Р. Парриш, Д. Маккартни ; [пер. с англ. 2-го изд.] ; под ред. О. П. Лыкова, И. А. Голубевой. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2014. – 664 с. : ил. – ISBN 978-1-420-08519-8 (англ.). – ISBN 978-5-91884-055-9.

2. Мановян, А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа : учеб. пособие для вузов / А. К. Мановян. – 2-е изд., испр. – М. : Химия, 2001. – 568 с. : ил. – Библиогр.: с. 562-567. – ISBN 5-7245-1192-4.
3. Солодова, Н.Л. Химическая технология переработки нефти и газа ; учебное пособие [Электронный ресурс] / Н. Л. Солодова, Д. А. Халикова. - Казань : КНИТУ, 2012. - 122 с. - ISBN 978-5-7882-1220-3. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258408>.

Интернет-ресурсы:

1. <http://biblioclub.ru> – Университетская библиотека онлайн.
2. <http://e.lanbook.com> – Издательство «Лань».
3. <http://www.rsl.ru> – Российская государственная библиотека.