

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**  
**ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Технологии очистки газовых выбросов»**

**1. Перечень оценочных средств для компетенций, формируемых в результате освоения дисциплины**

<b>Код контролируемой компетенции</b>	<b>Способ оценивания</b>	<b>Оценочное средство</b>
ПК-1: Способен участвовать в совершенствовании технологических процессов и технических средств с позиций энерго- и ресурсосбережения	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена
ПК-2: Способен проводить эколого-экономический анализ действующих производств, а также создаваемых новых технологий	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена
ПК-5: Способен к разработке проектных решений по инженерной защите компонентов окружающей среды в соответствии с требованиями природоохранного законодательства	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена

**2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания**

Оцениваемые компетенции представлены в разделе «Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций» рабочей программы дисциплины «Технологии очистки газовых выбросов».

При оценивании сформированности компетенций по дисциплине «Технологии очистки газовых выбросов» используется 100-балльная шкала.

<b>Критерий</b>	<b>Оценка по 100-балльной шкале</b>	<b>Оценка по традиционной шкале</b>
Студент освоил изучаемый материал (основной и дополнительный), системно и грамотно излагает его, осуществляет полное и правильное выполнение заданий в соответствии с индикаторами достижения компетенций, способен ответить на дополнительные вопросы.	75-100	<i>Отлично</i>
Студент освоил изучаемый материал, осуществляет выполнение заданий в соответствии с индикаторами достижения компетенций с не принципиальными ошибками.	50-74	<i>Хорошо</i>
Студент демонстрирует освоение только основного материала, при выполнении заданий в соответствии с индикаторами достижения компетенций допускает	25-49	<i>Удовлетворительно</i>

отдельные ошибки, не способен систематизировать материал и делать выводы.		
Студент не освоил основное содержание изучаемого материала, задания в соответствии с индикаторами достижения компетенций не выполнены или выполнены неверно.	<25	<i>Неудовлетворительно</i>

**3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки уровня достижения компетенций в соответствии с индикаторами**

*1.Пример 1*

<b>Компетенция</b>	<b>Индикатор достижения компетенции</b>
ПК-1 Способен участвовать в совершенствовании технологических процессов и технических средств с позиций энерго- и ресурсосбережения	ПК-1.2 Проводит конструкторскую проработку технических средств, направленных на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий
ПК-2 Способен проводить эколого-экономический анализ действующих производств, а также создаваемых новых технологий	ПК-2.2 Проводит расчеты для обоснования проектов расширения и реконструкции действующих производств, а также планируемых объектов хозяйственной деятельности
ПК-5 Способен к разработке проектных решений по инженерной защите компонентов окружающей среды в соответствии с требованиями природоохранного законодательства	ПК-5.1 Определяет и анализирует основные направления повышения экологической безопасности предприятия с учетом специфики производства

### Кейс-задание 1.

Тепловая электростанция, основным топливом которой является уголь Кузнецкого бассейна, выбрасывает в атмосферу дымовые газы, содержащие 15 т/ч золы.

$T_{гр}=123^{\circ}\text{C}$ ,  $H_{гр}=150\text{ м}$ ,  $D_{гр}=5\text{ м}$ ,  $\omega_0=10\text{ м/с}$ .

Электростанция расположена в Новосибирской области:  $A=200$ ,  $T_{в}=23^{\circ}\text{C}$ ,  $\eta=1$ .

#### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку средств золоулавливания, направленную на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК- 1.2):

а) приведите классификацию электрофильтров по типу электродной системы, по направлению движения газов и по способу удаления пыли с электродов;

б) выполнить анализ и подбор конструкции электрофильтра для очистки дымовых газов при объеме газов 50 тыс. куб.м/час;

в) предложить решения по компоновке основных частей электрофильтра.

2. Провести расчет электрофильтра для обеспечения нормативов качества атмосферного воздуха (ПК-2.2):

а) выбрать оптимальные параметры работы электрофильтра и определить его гидравлическое сопротивление;

б) обосновать необходимую эффективность золоулавливания; фракционный состав пыли принять по справочнику.

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса (ПК-5.1):

а) определить величину максимальной приземной концентрации золы от выбросов дымовых газов  $C_m$  и расстояние  $X_m$ , на котором она достигается, при отсутствии средств золоулавливания; (при расчете  $C_m$  параметры  $m$  и  $n$  принять равными 1).

б) определить изменение зоны влияния предприятия при работе электрофильтра.

### Кейс-задание 2.

На цементном заводе, расположенном в с. Голуха, Заринского района, основным источником пылегазового выброса является вращающаяся печь обжига цементного клинкера. Уловленный материал в сухом виде возвращается в печь обжига.

Для обеспечения санитарно-гигиенических нормативов загрязняющих веществ на границе санитарно-защитной зоны необходимо обеспечить очистку газов от цементной пыли не ниже 95%.

#### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку устройств для улавливания цементной пыли, направленную на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК-1.2):

а) выполнить анализ и подбор конструкции электрофильтра для очистки цементного производства от пыли;  $V_{г}=15\text{ м}^3/\text{с}$ , концентрация цементной пыли  $X_{н}=0,025\text{ кг/ м}^3$ . Температура отходящего газа  $150^{\circ}\text{C}$ . Вязкость газа при температуре процесса  $2,25\cdot 10^{-5}\text{ Па}\cdot\text{с}$ ; разрежение в системе 1500 Па;

б) при компоновке оборудования необходимо обеспечить минимальные затраты электроэнергии.

2. Провести расчет электрофильтра для обеспечения требуемой степени очистки газов (ПК-2.2):

а) определить скорость дрейфа для частиц цементной пыли размером от 2 до 5 мкм;

б) определить длину осадительных пластин электрофильтра, расстояние между пластинами, радиус коронирующих электродов и расстояние между ними.

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса (ПК-5.1):

а) определить размер ориентировочной санитарно-защитной зоны цементного завода в соответствии с СанПиН;

б) определить возможность уменьшения размеров установленной СЗЗ предприятия при внедрении устройств улавливания цементной пыли на производстве.

### Кейс-задание 3.

Источниками выделений загрязняющих веществ на асфальтобетонном заводе (АБЗ), г. Барнаул, являются: сушильный барабан, элеватор сушильного материала, силосные емкости, грохот, битумные котлы, щековая и конусная дробилка.

Источники выбросов – выхлопные трубы пылеуловителей.

#### Задание:

1. Выполнить конструкторскую проработку устройств для улавливания пыли от организованных источников АБЗ, направленную на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК-1.2):

а) установить ряд «сухих» пылеуловителей по убыванию эффективности очистки;

б) выполнить анализ и подбор конструкции двухступенчатой очистки газов АБЗ от пыли: 1 ступень – центробежный пылеуловитель; 2 ступень – тканевый фильтр.

$V_T=15000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; начальная концентрация пыли  $X_n = 23 \text{ г/ м}^3$ ; конечная концентрация пыли  $X_k=7,5 \text{ г/м}^3$ . Температура процесса  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , плотность пыли  $2400 \text{ кг/м}^3$ . Фракционный состав пыли принять по справочнику.

в) определить эффективность двухступенчатой очистки газов от пыли.

2. Провести расчет циклона НИИОГаз и рукавного фильтра для обеспечения требуемой степени очистки газов (ПК-2.2):

а) определить основные размеры циклона в долях от диаметра цилиндрической части;

б) определить поверхность фильтрования рукавного фильтра, число рукавов, гидравлическое сопротивление фильтровальной ткани.

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса (ПК-5.1):

а) провести анализ всех источников выделений АБЗ; определить приоритетные загрязняющие вещества;

б) определить величину норматива ПДВ пыли от одиночного источника (без учета фона), если высота трубы  $H=5 \text{ м}$ ; диаметр  $D=0,3 \text{ м}$ ; скорость выхода ГВС из устья источника  $=2 \text{ м/с}$ ; ПДК<sub>м.р.</sub> пыли  $= 0,3 \text{ мг/м}^3$ ; (параметры  $m$  и  $n$  принять равными 1).

### Кейс-задание 4.

ООО «Барнаульская Генерация». Основное направление деятельности предприятия - выработка тепловой и электрической энергии для энергоснабжения предприятий, организаций и жилых кварталов Центрального и Октябрьского районов г. Барнаула.

Основное топливо - уголь марки ПЖ Воркутинского месторождения, при сжигании которого в котле типа ТП-170 образуется зола, дисперсный состав которой представлен в таблице:

d, мкм	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	40,0
g, % масс.	99,5	99,0	96,0	88,0	70,0	48,0	22,0

где d – диаметр определенной фракции, g – содержание частиц диаметром более d.

#### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку средств золоулавливания, направленную на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК- 1.2):

а) приведите классификацию «мокрых» золоуловителей, используемых для очистки дымовых газов ТЭЦ;

б) выполнить анализ и подбор конструкции скруббера Вентури и каплеуловителя для очистки дымовых газов при расходе  $40 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $T_r=135^\circ\text{C}$ ,

2. Провести расчет скруббера Вентури для обеспечения нормативов качества атмосферного воздуха (ПК-2.2):

а) определить основные размеры трубы Вентури: длину и диаметр конфузора и диффузора, диаметр горловины, гидравлическое сопротивление;

б) обосновать необходимую эффективность золоулавливания; фракционный состав пыли принять по таблице;

в) предложить известные малозатратные проектные решения по реконструкции труб Вентури.

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процессов теплоэнергетики (ПК-5.1):

а) величина максимально-разового выброса золы  $M$  от дымовой трубы ТЭЦ при эффективности очистки 95% составляла 20 г/с. Чему будет равна величина  $M$ , если в результате реконструкции скруббера Вентури эффективность увеличится до 98%?

б) определить класс предприятия по санитарной классификации и размер ориентировочной СЗЗ.

### Кейс-задание 5.

Барнаульская ТЭЦ-3 занимается выработкой тепловой и электрической энергии для энергоснабжения предприятий, организаций и жилых кварталов города.

В котлах сжигается бурый уголь Назаровского месторождения Канско-Ачинского бассейна.

Топочные газы, образованные при сжигании топлива, удаляются дымососом типа ДОД-31,5 в дымовую трубу. Производительность дымососа 847 тыс. м<sup>3</sup>/ч.  $T_r=155^\circ\text{C}$ ,  $H_{тр}=230$  м,  $D_{тр}=7,2$  м,  $\omega_0=10$  м/с.

### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку средств золоулавливания, направленную на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК- 1.2):

а) приведите классификацию электрофильтров по типу электродной системы;

б) выполните анализ и подбор конструкции электрофильтра для очистки дымовых газов при объеме газов 847 тыс. куб.м/час;

в) предложите способы снижения вторичного уноса взвешенных частиц с пластинчатых электродов.

2. Провести расчет электрофильтра для обеспечения нормативов качества атмосферного воздуха (ПК-2.2):

а) определить, по какому механизму происходит зарядка частиц размером более 0,5 мкм при коронном разряде?

б) определить оптимальные параметры работы электрофильтра и его гидравлическое сопротивление;

в) обосновать необходимую эффективность золоулавливания; фракционный состав пыли принять по справочнику.

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса (ПК-5.1):

а) охарактеризуйте способы использования золошлаковых отходов ТЭЦ;

б) перечислите все факторы снижения негативного воздействия ТЭЦ на воздушную среду при переводе котлоагрегатов на сжигание газообразного топлива.

### 2.Пример 2.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ПК-1 Способен участвовать в совершенствовании технологических процессов и технических средств с позиций энерго- и ресурсосбережения	ПК-1.2 Проводит конструкторскую проработку технических средств, направленных на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий
ПК-2 Способен проводить эколого-экономический анализ действующих производств, а также	ПК-2.2 Проводит расчеты для обоснования проектов расширения и реконструкции

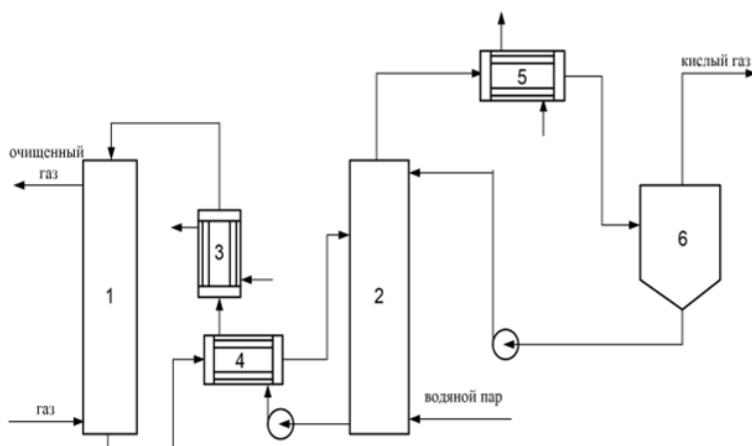
создаваемых новых технологий	действующих производств, а также планируемых объектов хозяйственной деятельности
ПК-5 Способен к разработке проектных решений по инженерной защите компонентов окружающей среды в соответствии с требованиями природоохранного законодательства	ПК-5.1 Определяет и анализирует основные направления повышения экологической безопасности предприятия с учетом специфики производства

### Кейс-задача 1.

ОАО «Алтайвагон» относится к отрасли тяжелого машиностроения и специализируется на строительстве железнодорожного подвижного состава.

Предприятие имеет собственную котельную, в составе котельной - углекислотная станция, основная задача которой - обеспечение завода углекислым газом, необходимым для сварки.

Основным топливом котельной является природный газ. Для улавливания диоксида углерода из дымовых газов котельной на углекислотной станции применяется моноэтаноламиновая очистка газов. Схема процесса абсорбции диоксида углерода из дымовых газов котельной раствором моноэтаноламина (МЭА) приведена на рисунке 1.



1 - абсорбер; 2- отпарная колонна, 3 - холодильник; 4,5 - теплообменник; 6 - сепаратор

Рисунок 1 - Схема моноэтаноламиновой очистки газов от диоксида углерода

### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку способов очистки дымовых газов котельной, направленную на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК-1.2):

- обоснуйте выбор метода очистки газов от кислых компонентов в зависимости от характеристики газовых смесей и требуемых показателей очистки;
- обоснуйте выбор абсорбента для поглощения диоксида углерода, конструкцию абсорбера, параметры процесса абсорбции и регенерации растворителя.

2. Провести расчет основных узлов технологической схемы абсорбционной очистки (ПК-2.2):

- приведите химизм процесса МЭА-очистки газа от диоксида углерода;
- определите основные параметры абсорбционной колонны при расходе дымового газа  $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , начальной концентрации  $\text{CO}_2 = 12\% \text{ об.}$

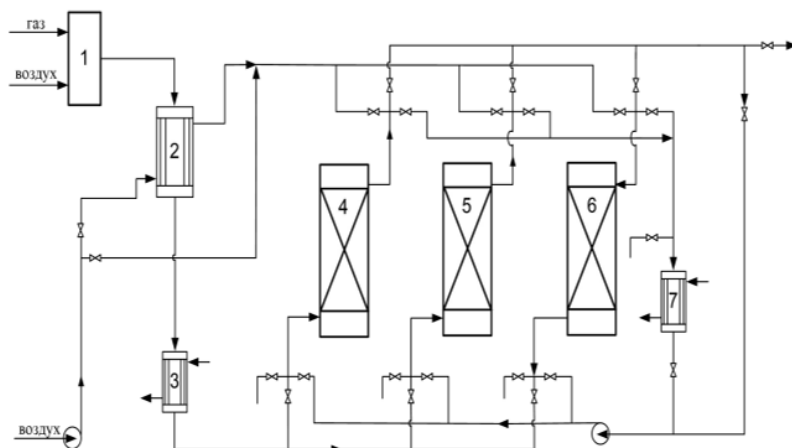
3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса с учетом специфики производства (ПК-5.1):

- проведите оценку варианта схемы с использованием смеси МЭА с диэтиленгликолем;
- предложите вариант схемы с разделением потоков абсорбента для снижения расхода водяного пара при регенерации поглотителя.

### Кейс-задача 2.

В ряде металлургических процессов используется защитный инертный газ (экзотермическая контролируемая атмосфера), получаемый при сжигании природного газа в воздухе. В результате сжигания метана получают азотоводородную смесь, насыщенную

парами воды и содержащую до 12 %  $\text{CO}_2$ . Для получения защитного инертного газа удаление примесей производят в установке с адсорберами, заполненными цеолитами (рисунок 1).



1 - газогенератор; 2 - газозвоздушный теплообменник;  
3, 7 - водяные холодильники; 4-6 - адсорберы на стадиях охлаждения, очистки и регенерации соответственно

Рисунок 1 - Схема установки для приготовления очищенной экзотермической атмосферы

### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку способа очистки газов металлургических производств, направленного на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК- 1.2):

а) обоснуйте выбор метода тонкой очистки и осушки газа адсорбционным методом с использованием цеолитов;

б) перечислите возможные способы осуществления процессов адсорбции.

2. Провести расчет основных узлов технологической схемы адсорбционной очистки (ПК-2.2):

а) проведите выбор цеолита, обладающего высокими равновесными и кинетическими показателями, параметры процесса адсорбции и регенерации цеолита;

б) определите основные параметры адсорбционной колонны при расходе азотводородной смеси  $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , начальной концентрации  $\text{CO}_2 = 12\% \text{ об.}$

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса с учетом специфики производства (ПК-5.1):

а) перечислите основные свойства выбросов;

б) как изменится величина максимальной приземной концентрации  $\text{C}_m$  при рассеивании выбросов, если увеличить высоту трубы в 2 раза?

### Кейс-задача 3.

При сжигании различных топлив на ТЭЦ с *дымовыми газами* в воздушный бассейн выбрасывается большое количество диоксида серы.

Вид топлива и режим его горения существенно влияет на состав образующихся вредных веществ.

Первичные источники энергии – уголь, нефть и природный газ – содержат различные количества серы и ее соединений, а также следовые количества многих других элементов, например, хрома, ванадия, свинца, германия, мышьяка и бериллия. В природном газе содержание соединений серы невелико вследствие предварительной его обработки перед



подачей на сжигание, но наличие этих соединений в угле и нефти приводит к серьезному загрязнению атмосферы.

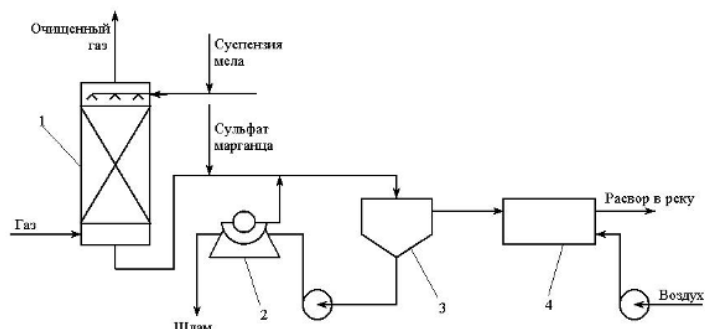
Сера преимущественно поступает в виде пирита, сульфида и сульфата железа или в составе различных органических соединений. Она может также находиться в виде элементарной серы. Вся сульфидная и связанная в органических соединениях сера переходит в процессе сжигания в отходящие газы, а сульфатная сера переходит в газ лишь частично.

Содержание серы в каменном угле составляет около 1%, в буром угле – от 1,0% до 5,0 %, но может достигать и существенно больших значений. Содержание серы в нефти колеблется существенно – от менее 1% для малосернистых до 1,5-5,0 % и более для высокосернистых.

Доля серы, попадающей в отходящие газы при сжигании угля, зависит, в основном, от температуры процесса. В современных печах лишь малая часть ее остается в золах или шлаке, а 95-98% в виде оксидов уходит в выхлоп.

Отходящие газы больших ТЭЦ, работающих на буром угле, содержат обычно от 0,1% до 0,2 % диоксида серы по объему.

Метод улавливания диоксида серы из дымовых газов ТЭЦ г. Баттерси (Великобритания) приведен на рисунке 1. В качестве поглотителя  $SO_2$  использовалась щелочная вода реки Темзы с добавкой водной взвеси мела.



1 - абсорбер; 2 - барабанный фильтр; 3 - отстойник; 4 - аэратор

Рисунок 1 - Процесс «Баттерси»

### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку способа очистки дымовых газов ТЭЦ от диоксида серы, направленного на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК- 1.2):

а) определите механизм поглощения диоксида серы сульфит-бисульфитными растворами;

б) перечислите физико-химические закономерности процессов хемосорбции.

2. Провести анализ основных узлов технологической схемы очистки газа от диоксида серы (ПК-2.2):

а) проведите расчет основных параметров абсорбера; производительность  $V_0 = 250$  тыс.  $m^3/ч$ ; концентрация  $SO_2$  в газе: на входе в абсорбер  $u_n = 2$   $г/м^3$ ; на выходе из абсорбера  $u_k = 0,3$   $г/м^3$ ;

б) обоснуйте выбор поглотителя.

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса с учетом специфики производства (ПК-5.1):

а) перечислите основные факторы негативного воздействия на окружающую среду при реализации процесса обезвреживания;

б) предложите способы снижения влияния сброса сточных вод ТЭЦ в поверхностный водоем – р. Темзу.

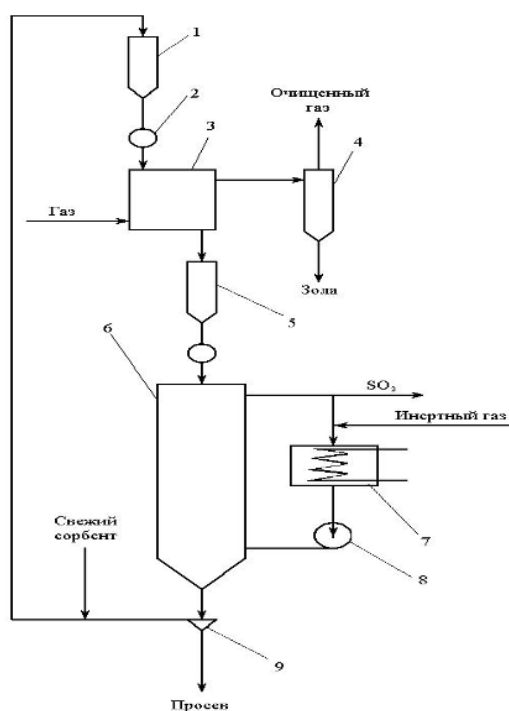
#### Кейс-задача 4.

При производстве серной кислоты для улавливания из выбросных газов диоксида серы разработан адсорбционный метод в кипящем слое зернистого угольного сорбента.

Все методы с использованием угольного сорбента отличаются простотой и универсальностью, возможностью очистки горячих газов (температура выше 100 °С). Недостатком процессов, в зависимости от способа регенерации сорбента, является либо большой расход сорбента, либо получение в качестве отхода разбавленной, сильно загрязненной серной кислоты, сбыт которой затруднен, а переработка требует дополнительных средств.

Проведение процесса адсорбции диоксида серы возможно в стационарном слое, в движущемся и кипящем слое угольных сорбентов.

Схема процесса очистки газов от SO<sub>2</sub> в кипящем слое угольного сорбента изображена на рис. 1.



1 - емкость; 2 - дозатор; 3 - адсорбер; 4 - циклон; 5 - бункер;  
6 - десорбер; 7 - подогреватель; 8 - газодувка; 9 - сито

Рисунок 1 - Схема очистки газов в кипящем слое сорбента

#### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку способа очистки выбросных газов производства серной кислоты, направленного на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК- 1.2):

а) обоснуйте выбор адсорбционной очистки дымовых газов с использованием углеродсодержащих сорбентов;

б) изложите основы кинетики и динамики процесса адсорбции.

2. Провести расчет основных узлов технологической схемы адсорбционной очистки (ПК-2.2):

а) проведите выбор сорбента, обладающего высокими равновесными и кинетическими показателями, параметры процесса адсорбции и регенерации поглотителей;

б) определите основные параметры адсорбционной колонны при расходе дымового газа  $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , начальной концентрации  $\text{SO}_2 = 2\% \text{ об.}$

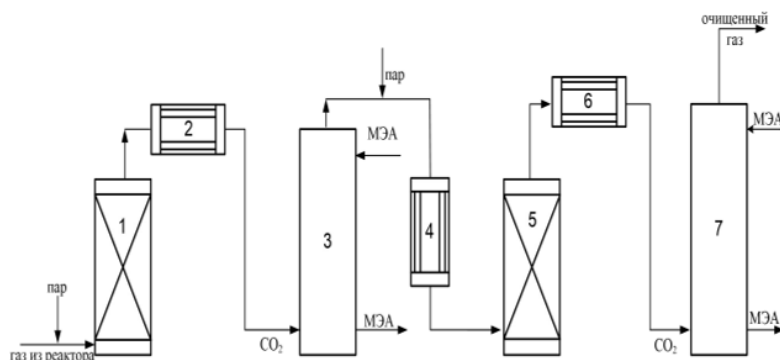
3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса с учетом специфики производства (ПК-5.1):

а) рассмотрите проблемы и возможности их решения, связанные с использованием кипящего слоя сорбента;

б) как изменится величина максимальной приземной концентрации  $C_m$  при рассеивании выбросов, если увеличить высоту трубы в 3 раза?

### Кейс-задача 5.

При *производстве аммиака* используют водород, который получают конверсией природного газа. Газы, используемые для синтеза аммиака, должны содержать не более 10 промилей оксида углерода  $\text{CO}$ , который является каталитическим ядом. Для тонкой очистки водорода от  $\text{CO}$  перед синтезом аммиака используется каталитическая очистка реакцией водяного газа (конверсия с водяным паром). В качестве катализатора применяются оксиды железа (рисунок 1).



1 - конвертер  $\text{CO}$  первой ступени; 2, 6 - холодильники; 3 - абсорбер  $\text{CO}_2$  первой ступени; 4 - нагреватель газа; 5 - конвертер  $\text{CO}$  второй ступени; 7 - абсорбер  $\text{CO}_2$  второй ступени

Рисунок 1- Схема установки для очистки газов от оксида углерода реакцией водяного газа

### Задания

1. Выполнить конструкторскую проработку способа очистки газов синтеза аммиака от оксида углерода, направленного на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий (ПК- 1.2):

а) обоснуйте выбор каталитического метода очистки и требования к катализаторам;

б) перечислите особенности каталитических процессов очистки газов.

2. Провести анализ основных узлов технологической схемы каталитической очистки (ПК-2.2):

а) проведите выбор катализатора и конструкции реактора;

б) определите основные параметры процесса каталитической очистки и стадийность процесса

3. Выполнить анализ основных направлений повышения экологической безопасности процесса с учетом специфики производства (ПК-5.1):

а) перечислите основные характеристики выбросов;

б) представьте факторы, влияющие на распространение загрязнений в атмосфере.

**4. Файл и/или БТЗ с полным комплектом оценочных материалов прилагается.**

