

**Методические материалы для обучающихся
по освоению дисциплины (модуля)**

Аппараты и методы очистки выбросов
наименование дисциплины (модуля)

Направление подготовки /специальность 20.03.01 Техносферная безопасность
код и наименование направления подготовки /специальности

Направленность (профиль)/специализация «Экологическая безопасность предприятия»
наименование направленности (профиля) /специализации

Мурманск
2022

Составитель – Федорова Ольга Анатольевна, канд. техн. наук, директор института Арктических технологий ФГАОУ ВО «МГТУ», Гапоненков Иван Андреевич, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности ФГАОУ ВО «МГТУ»

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модулю) «Аппараты и методы очистки выбросов» рассмотрены и одобрены на заседании кафедры техносферной безопасности 23.05.2022 г., протокол №8.

Общие положения

Цель методических материалов по освоению дисциплины (модуля) - обеспечить обучающемуся оптимальную организацию процесса изучения дисциплины (модуля), а также выполнения различных форм самостоятельной работы.

Освоение дисциплины (модуля) осуществляется на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы обучающихся. Основными видами аудиторной работы по дисциплине (модулю) являются занятия лекционного и семинарского типа. Конкретные формы аудиторной работы обучающихся представлены в учебном плане образовательной программы и в рабочих программах дисциплин (модулей).

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины (модуля), ее структурой и содержанием, фондом оценочных средств.

Работая с рабочей программой, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемому перечню основной и дополнительной литературы и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего контроля и промежуточной аттестации.

Каждая рабочая программа по дисциплине (модулю) сопровождается методическими материалами по ее освоению.

Отдельные учебно-методические разработки по дисциплине (модулю): учебные пособия или конспекты лекций, методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и решению задач и т.п. размещены в ЭИОС МГТУ.

Обучающимся рекомендуется получить в библиотеке МГТУ учебную литературу, необходимую для работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины (модуля).

Виды учебной работы, сроки их выполнения, запланированные по дисциплине (модулю), а также система оценивания результатов, зафиксированы в технологической карте дисциплины (модуля):

Таблица 1 - Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Аппараты и методы очистки выбросов» (промежуточная аттестация - экзамен)

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	min	
Текущий контроль				
2.	Практические занятия/семинары	24	28	
5.	РГР	12	20	
7.	Посещение занятий	24	32	
	ИТОГО	min - 60	max - 80	
Промежуточная аттестация				
	Экзамен	min - 10	max - 20	
	ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	min - 70	max - 100	

Работа по изучению дисциплины (модуля) должна носить систематический характер. Для успешного усвоения теоретического материала по предлагаемой дисциплине (модулю) необходимо регулярно посещать лекции, активно работать на учебных занятиях, выполнять письменные работы по заданию преподавателя, перечитывать лекционный материал, значительное внимание уделять самостоятельному изучению дисциплины (модуля).

Важным условием успешного освоения дисциплины (модуля) является создание самим обучающимся системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с календарным учебным графиком.

1. Методические рекомендации при работе на занятиях лекционного типа

К занятиям лекционного типа относятся лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации преподавателем.

Лекция представляет собой последовательное изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера. Цель лекционного занятия – организация целенаправленной познавательной деятельности обучающихся по овладению программным материалом учебной дисциплины (модуля).

В ряде случаев лекция выполняет функцию основного источника информации, например, при отсутствии учебников и учебных пособий; в случае, когда новые научные данные по той или иной теме не нашли отражения в учебниках; отдельные разделы и темы очень сложные для самостоятельного изучения обучающимися.

В ходе проведения занятий лекционного типа необходимо вести конспектирование излагаемого преподавателем материала.

Наиболее точно и подробно в ходе лекции записываются следующие аспекты: название лекции; план; источники информации по теме; понятия, определения; основные формулы; схемы; принципы; методы; законы; гипотезы; оценки; выводы и практические рекомендации.

Конспект - это не точная запись текста лекции, а запись смысла, сути учебной информации. Конспект пишется для последующего чтения и это значит, что формы записи следует делать такими, чтобы их можно было легко и быстро прочитать спустя некоторое время. Конспект должен облегчать понимание и запоминание учебной информации.

Рекомендуется задавать лектору уточняющие вопросы с целью углубления теоретических положений, разрешения противоречивых ситуаций. При подготовке к занятиям семинарского типа, можно дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из изученной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины (модуля).

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины (модуля).

2. Методические рекомендации по подготовке и работе на занятиях семинарского типа

Важной составной частью учебного процесса в университете являются занятия семинарского типа. К ним относятся: семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия.

Эффективность этих занятий во многом зависит от качества предшествующих занятий лекционного типа и самоподготовки обучающихся. Занятия семинарского типа проводятся по дисциплинам (модулям), требующим научно-теоретического обобщения литературных источников, и помогают обучающимся глубже усвоить учебный материал, приобрести навыки творческой работы с различными источниками информации.

Планы занятий семинарского типа, их тематика, рекомендуемая литература, цель и задачи ее изучения сообщаются преподавателям на вводных занятиях, в методических указаниях, которые размещаются в ЭИОС МГТУ.

Подготовка к занятию семинарского типа включает 2 этапа.

1 этап – организационный. Обучающийся планирует свою работу, которая включает: уяснение задания; подбор рекомендованной литературы; составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки. Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе.

2 этап - закрепление и углубление теоретических знаний. Включает непосредственную подготовку обучающегося к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекционном занятии обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. В связи с этим работа с рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на суть основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы обучающийся должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале. Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.

Различаются четыре типа конспектов:

План-конспект - это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении.

Текстуальный конспект - это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника.

Свободный конспект - это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом.

Тематический конспект - составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу).

Практическое занятие - это форма организации учебного процесса, предполагающая выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателя одной или нескольких практических работ. И если на лекции основное внимание студентов сосредоточивается на разъяснении теории конкретной учебной дисциплины, то практические занятия служат для обучения методам ее применения. Главной их целью является усвоение метода использования теории, приобретение практических умений, необходимых для изучения последующих дисциплин.

Подготовку к практическому занятию лучше начинать сразу же после лекции по данной теме или консультации преподавателя. Необходимо подобрать литературу, которая рекомендована для подготовки к занятию и просмотреть ее. Любая теоретическая проблема должна быть осмыслена студентом с точки зрения ее связи с реальной жизнью и возможностью реализации на практике.

Семинар. Семинарские занятия предполагают активную работу студентов – выступления с рефератами или докладами, устные ответы на вопросы преподавателя, коллективное обсуждение проблем курса. Тема семинара является общей для всей группы студентов, и каждый должен подготовить ответы на все вопросы, если преподаватель не распределил вопросы для подготовки персонально. Сообщения или доклады, сделанные на семинаре, обсуждаются, студенты выступают с дополнениями и замечаниями. Таким образом, семинары учат студентов умению четко излагать свои мысли, аргументировать свои суждения, вести научную полемику, считаться с точкой зрения оппонентов. Кроме этого, в ходе семинара выявляются недостаточно понятые и усвоенные вопросы, положения.

Практическая работа №1

Методы очистки газовых выбросов промышленных предприятий

Данное практическое занятие проводится в форме "круглого стола". Студенты обсуждают следующие вопросы:

1. Какие группы методов очистки газовых выбросов промышленных предприятий Вы знаете?

2. Какие методы относятся к сухой очистке газов?

3. Какие методы относятся к мокрой очистке газов?

На обсуждение каждого вопроса отводится 25 минут, в конце занятия ведущим подводятся итоги обсуждения.

При подготовке к данному практическому занятию следует акцентировать свое внимание лишь на общих классификациях методов, не углубляясь в конструктивные схемы аппаратов.

Практическая работа №2 Расчет пылесадительных камер

На занятии решаются задачи, условия и алгоритмы решения которых приведены ниже.

Задача 1. Определить необходимую длину пылесадительной камеры шириной b м, необходимую для улавливания сферических частиц пыли диаметром d мкм. Объемный расход отходящего газа предприятия V м³/ч, вязкость очищаемого газа μ Па с, плотность пыли ρ кг/м³, плотность очищаемого газа ρ_g кг/м³.

Решение.

Определяется скорость осаждения частиц методом Стокса. Принимают режим осаждения частиц ξ , в зависимости от значения ξ , рассчитывается скорость осаждения. Затем

$$Re = \frac{\omega_{oc} \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

проверяется правильность выбранного режима (). Если режим не совпадает с выбранным, то расчет повторяют для другого режима.

$$F_{oc} = \frac{V}{\omega_{oc}}; \omega_{oc}' = 0,5\omega_{oc}$$

Площадь осаждения пылесадительной камеры

$$L = \frac{F_{oc}}{b}$$

Длина пылесадительной камеры

Задача 2. Рассчитать высоту слоя газа между полками пылевой камеры, чтобы осели частицы колчеданной пыли диаметром 8 мкм и больше при расходе печного газа 0,6 м³/с (при н.у.). Длина камеры 4,1 м, ширина 2,8 м, общая высота 4,2 м. Средняя температура газа в камере 500⁰С. Вязкость газа при этой температуре $0,028 \cdot 10^{-3}$ Па с, плотность пыли 3 000 кг/м³, плотность газа 0,47 кг/м³ при этой температуре.

Решение.

Определяется объемный расход газа V при заданных условиях.

Линейная скорость газа (пренебрегая толщиной полок) $\omega_z = V/(b \cdot h)$.

Время пребывания в камере $\tau = L/\omega_z$.

Теоретическая скорость осаждения шарообразных частиц определяется по формуле Стокса.

Действительная скорость осаждения принимается равной $\omega' = 0,5 \cdot \omega$.

Расстояние между полками $h = \omega' \cdot \tau$.

$$Re = \frac{\omega_{oc} \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

Проверяется правильность применения формулы Стокса

Практическая работа №3 Расчет одиночных и батарейных циклонов

На занятии решаются задачи, условия и алгоритмы решения которых приведены ниже.

Задача 1. В батарейном циклоне требуется очищать от пыли V м³/ч газа при температуре $T^{\circ}\text{C}$. Плотность газа (при 0° и 760 мм рт.ст.) ρ кг/м³. Барометрическое давление p . На входе в батарейный циклон газ находится под разрежением $p_{\text{вак}}$ Па. Гидравлическое сопротивление батарейного циклона не должно превышать Δp Па. Плотность пыли ρ_n кг/м³. Запыленность газа C г/м³ (при 0° и 760 мм рт.ст.). Пыль слабо слипающаяся. Определить количество циклонных элементов типа БЦ с розеточным направляющим аппаратом, используя экспериментальные данные, приведенные в табл. 8.

Таблица 8

Характеристики батарейных циклонов

Диаметр элемента, мм	Наибольшая допускаемая запыленность газа, г/м ³ (при 0° и 760 мм рт.ст.)	Степень улавливания пыли, %, при диаметре частиц			Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_0 при угле наклона лопастей	
		5 мкм	10 мкм	15 мкм	25°	30°
250	75	72	84	93	90	65
150	35	78	88	95		
100	15	82	91	96		

Рекомендуемое отношение $\Delta p/\rho = 540 - 736 \text{ м}^2/\text{с}^2$.

Решение.

На основании данных по таблице выбирают циклонные элементы определенного диаметра. Определяют плотность газа при рабочих условиях

По условию задачи потеря давления не должна превышать Δp Па. Находят соотношение $\Delta p/\rho$ и сравнивают с данными.

Рассчитывают скорость газа в цилиндрической части циклонного элемента по формуле

$$\omega_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\xi_0 \rho}}$$

для направляющего аппарата типа розетки с углом наклона лопастей к горизонтали 25° , с углом наклона 30° .

Расход газа на один элемент батарейного циклона $V_1 = 0,785 D^2 3600 \omega_{\text{ц}}$ определяют для двух случаев (25 и 30°). Затем рассчитывают необходимое число циклонных элементов путем деления расхода газа V на полученных расход V_1 . Округляют до целого числа и располагают их в четыре ряда по ходу газа (по n элементов в каждом ряду).

Затем сравнивают полученные конструкции (с углом наклона лопастей 25 и 30°) и делают выбор, исходя из требований к аппаратам.

Задача 2. Рассчитать гидравлическое сопротивление и эффективность очистки циклона типа ЦН-15 при следующих исходных данных. Расход очищаемого газа при нормальных условиях V м³/ч; плотность газа ρ_g кг/м³; температура газа на входе в циклон $T^{\circ}\text{C}$, его динамическая вязкость μ , барометрическое давление p , разрежение в циклоне $p_{\text{вак}}$; начальная концентрация пыли в очищаемом газе C г/м³; медианный размер частиц пыли d_m ; логарифм среднего квадратичного отклонения размеров частиц пыли $\lg \delta_{\text{ц}}$; плотность частиц пыли ρ кг/м³. Очищенный газ (после циклона) выбрасывается в атмосферу.

Таблица 9

Оптимальная скорость газа

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$\omega_{\text{опт}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Таблица 10

Поправочный коэффициент на диаметр циклона

Тип циклона	Значение k_1 для D (в мм)				
	150	200	300	450	500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 11

Поправочный коэффициент на запыленность газа

Тип циклона	Значение k_2 при C_{ex} (в г/м ³)						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,5
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Таблица 12

Коэффициент гидравлического сопротивления
одиночного циклона диаметром 500 мм

Тип циклона	Значения ξ_{500}		Тип циклона	Значения ξ_{500}	
	При выбросе в атмосферу	При выбросе в сеть		При выбросе в атмосферу	При выбросе в сеть
ЦН-11	250	245	СДК-ЦН-33	600	520
ЦН-15	163	155	СК-ЦН-34	1 150	1 050
ЦН-15У	170	165	СК-ЦН-34М	2 000	-
ЦН-24	80	75			

Таблица 13

Характеристики типового циклона

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
d_{50}^T , мкм	8,5	6,0	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$\lg \delta_\eta$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
Значения d_{50}^T определены по условиям работы типового циклона: $D_m = 0,6$ м; $\rho_{um} = 1930$ кг/м ³ ; $\mu_m = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па с; $\omega_m = 3,5$ м/с.							

Таблица 14
Значения функции $\Phi(x)$

x	-2,70	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,2
$\Phi(x)$	-0,0035	0,0228	0,0359	0,0548	0,0808	0,1151
x	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	
$\Phi(x)$	0,1587	0,2119	0,2743	0,3446	0,4207	
x	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\Phi(x)$	0,5000	0,5793	0,6554	0,7257	0,7881	0,8413
x	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,7
$\Phi(x)$	0,8849	0,9192	0,9452	0,9641	0,9772	0,9965

Решение.

1. Определяют оптимальную скорость газа в сечении циклона диаметром D по таблице 2.

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega_{opt}}}$$

2. Вычисляют диаметр циклона по формуле . Полученное значение округляется до ближайшего типового значения диаметра циклона: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм.

Рассчитывается объемный расход газа в условиях задачи и диаметр циклона. Округляется до ближайшего типового значения диаметра циклона.

3. По выбранному диаметру циклона находят действительную скорость движения газа в

циклоне $\omega = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot n \cdot D^2}$, где n – количество циклонов, в рассматриваемом случае – 1. Действительная скорость не должна отклоняться от оптимальной больше, чем на 15%.

4. Определяется коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона $\xi = k_1 \cdot k_2 \cdot \zeta_{500}$, где k_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона (таблица 3); k_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа (таблица 4), ζ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм (табл.6).

$$\Delta p = \frac{\xi \cdot \rho \cdot \omega^2}{2}$$

5. Определяется гидравлическое сопротивление циклона

6. Эффективность очистки газа в циклоне $\eta = 0,5 \cdot (1 + \Phi(x))$,

$$x = \frac{\lg \frac{d_m}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \delta_\eta + \lg^2 \delta_\mu}}$$

где $\Phi(x)$ – табличная функция от параметра x , равного

Значения d_{50}^T и $\lg \delta_\eta$ приведены в табл.6, здесь d_{50}^T – медианный диаметр частиц пыли 50 мкм для типового циклона, $\lg \delta_\eta$ – среднеквадратичное отклонение в функции логарифмически нормального распределения Гаусса. Значения d_{50}^T определены по условиям работы типового циклона: $D_m = 0,6$ м; $\rho_{чм} = 1930$ кг/м³; $\mu_m = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па с; $\omega_m = 3,5$ м/с. Для учета влияния отклонений условий работы от типовых на величину d_{50} используется соотношение

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D \cdot \rho_{чм} \cdot \mu \cdot \omega}{D_m \cdot \rho_{ч} \cdot \mu_m \cdot \omega}}$$

Рассчитывают x . По табл.7 находят $\Phi(x)$.

Определяют расчетную эффективность очистки газа в циклоне.

7. Если расчетное значение эффективности окажется меньше необходимого по условиям выброса пыли в атмосферу, то нужно выбрать другой тип циклона с большим значением гидравлического сопротивления.

Практическая работа №4 **Аппараты для сухого извлечения пыли из промвыбросов**

Практическое занятие проводится в форме круглого стола. При подготовке необходимо обратить внимание на конструкции аппаратов для сухого извлечения пыли и разобраться с принципами действия данных аппаратов. Вопросы для обсуждения:

1. Конструкции и принцип действия циклонов.
2. Конструкции и принцип действия электрофильтров.
3. Конструкции и принцип действия фильтров.

На обсуждение каждого вопроса отводится 25 минут, после чего ведущий резюмирует все выступления.

Практическая работа №5 **Аппараты для мокрого извлечения пыли из промвыбросов**

Практическое занятие проводится в форме круглого стола. При подготовке необходимо обратить внимание на конструкции аппаратов для мокрого извлечения пыли и разобраться с принципами действия данных аппаратов. Вопросы для обсуждения:

1. Конструкции и принцип действия барботажных газопромывателей.
2. Конструкции и принцип действия насадочных скрубберов.
3. Конструкции и принцип действия ротоклонов.

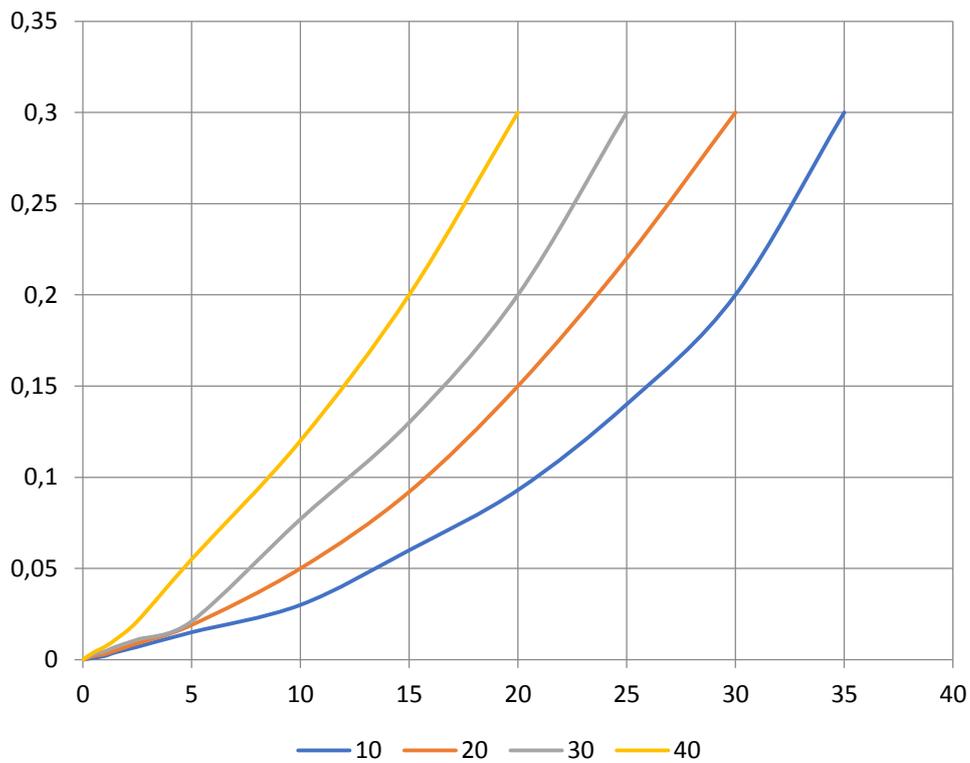
На обсуждение каждого вопроса отводится 25 минут, после чего ведущий резюмирует все выступления.

Практическая работа №6 **Построение равновесной линии процесса абсорбции**

На данном практическом занятии выполняется курсовой проект в части построения равновесной линии процесса абсорбции. На занятие желательно приходить с переносными компьютерами для работы в MicrosoftExcel.

Построение равновесной линии процесса $\bar{Y} = f(\bar{X})$ осуществляется на основании данных равновесия, изображенных на рис. 1 – 5, с предварительным пересчетом концентраций или парциальных давлений в единицы измерения кг/кг инертного вещества. Формулы для такого перевода приведены в разделе 6 [1].

$\bar{Y}, г/кг$



$\bar{X}, \text{кг/м}^3$

Рис. 1. Кривые равновесия системы «SO₂ – диметиланилин» при различных температурах (°C)

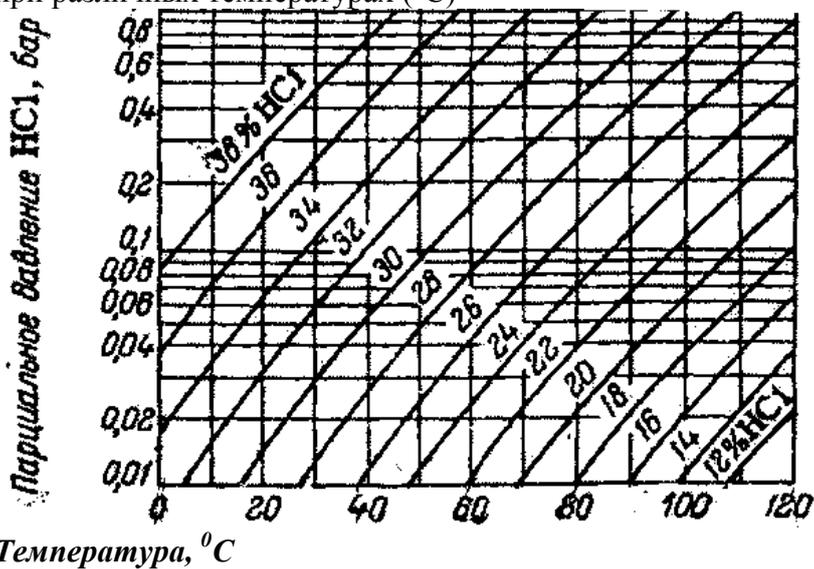
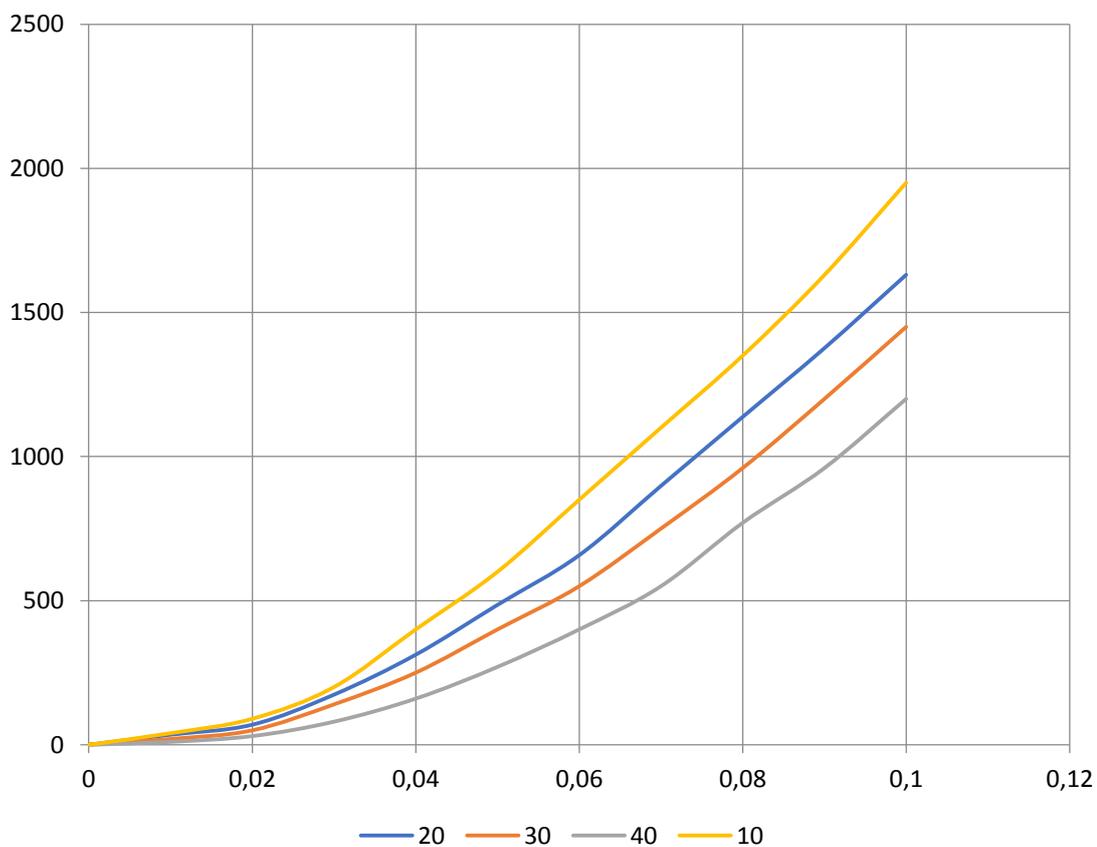


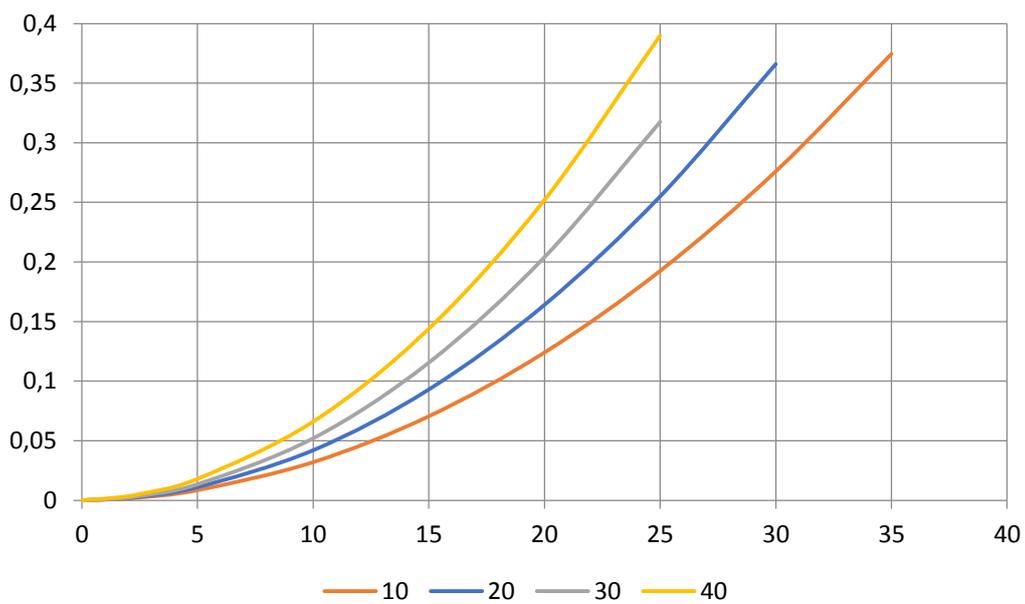
Рис. 2. Кривые равновесия системы «HCl – вода»
 $p, \text{Па}$



$\bar{X}, \%(масс.)$

Рис. 3. Кривые равновесия «HF - вода» при различных температурах ($^{\circ}C$)

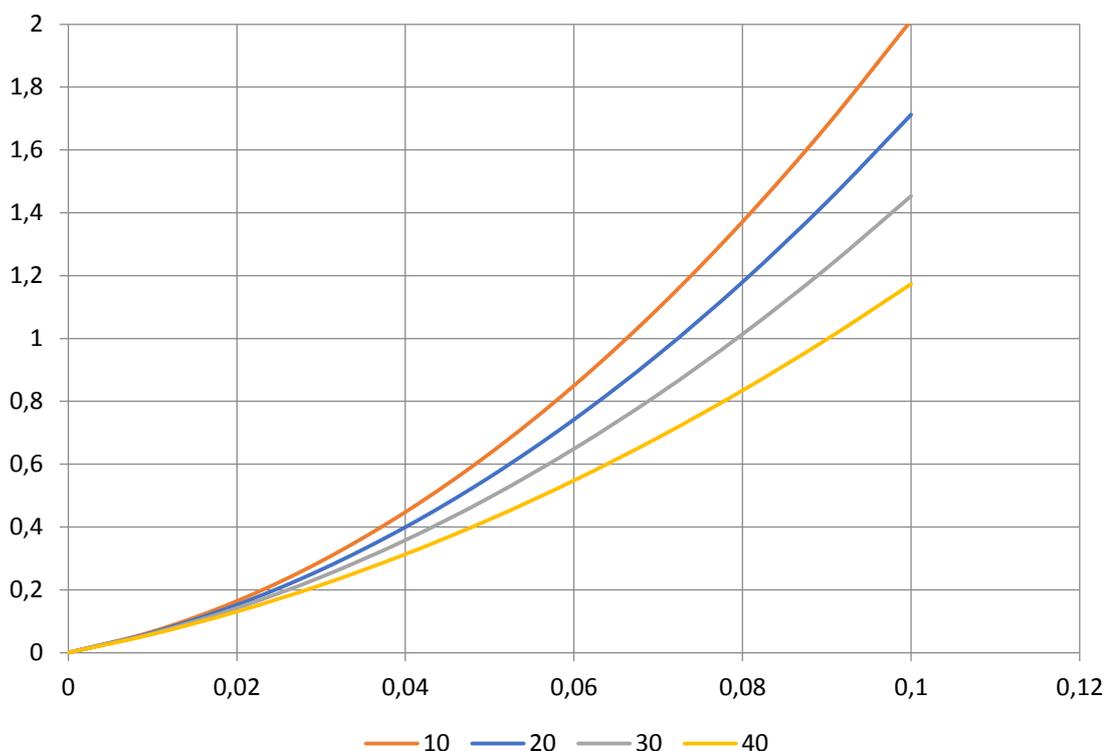
$\bar{Y}, г/кг$



$\bar{X}, кг/м^3$

Рис. 4. Кривые равновесия «Cl₂ – карбонат натрия» при различных температурах ($^{\circ}C$)

$p, кПа$



$\bar{X}, \%(масс.)$

Рис. 5. Кривые равновесия «H₂S – этаноламин» при различных температурах (°C)

Практическая работа №7 Построение рабочей линии процесса абсорбции. Нахождение числа теоретических тарелок

На данном практическом занятии выполняется курсовой проект в части нахождения числа теоретических тарелок. На занятие желательно приходить с переносными компьютерами для работы в Microsoft Excel.

Уравнение рабочей линии процесса при противотоке определяется из уравнения материального баланса по следующей формуле

$$\bar{Y} = \frac{L}{G} \bar{X} + \frac{G \cdot \bar{Y}_n - L \cdot \bar{X}_k}{G}, \quad (1)$$

где G - массовый расход инертного газа, кг/с;

\bar{Y}_n - начальная концентрация поглощаемого компонента, кг/кг инертного газа;

\bar{Y}_k - конечная концентрация поглощаемого компонента, кг/кг инертного газа;

L - массовый расход жидкого поглотителя (абсорбента), кг/с;

\bar{X}_k - начальная концентрация жидкости, кг/кг жидкого поглотителя;

\bar{X}_n - конечная концентрация жидкости, кг/кг жидкого поглотителя.

Подставив в (1) имеющиеся данные, находится уравнение рабочей линии процесса и строится совмещенный график рабочей и равновесной линий. Второй способ построения рабочей линии заключается в соединении прямой линией точек с координатами $(\bar{X}_n; \bar{Y}_n)$ и $(\bar{X}_k; \bar{Y}_k)$.

Число теоретических тарелок находится следующим образом. От точки на рабочей линии с ординатой \bar{Y}_n проводится вертикаль до пересечения с равновесной линией. Из

полученной точки проводится горизонталь до рабочей линии. Построение продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты заданные значения \bar{X}_n и \bar{Y}_k . Число точек пересечения с линией равновесия дает число теоретических тарелок, которое составляет количество ступеней изменения концентрации.

Практическая работа №8 Конструктивный расчет барботажных абсорберов

На данном практическом занятии выполняется курсовой проект в части определения некоторых конструктивных размеров аппарата.

Расчет диаметра аппарата

Согласно ГОСТ 21944-76 «Аппараты колонные стальные. Ряд диаметров. Расстояние между тарелками» внутренний диаметр колонного аппарата, изготовляемого из листовой стали с контактными устройствами в виде тарелок, следует выбирать из ряда: 400; 500; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2200; 2400; 2600; 2800; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000; 4500; 5000; 5500; 5600; 6000; 6300; 6400; 7000; 7500; 8000; 8500; 9000; 9500; 10000 мм, после приведенного ниже расчета.

Эффективная работа колпачковых тарелок определяется величиной F^* - фактора [4], определяемого по формуле

$$F^* = \omega \sqrt{\rho_2},$$

где ω – фиктивная скорость газа, м/с, фиктивная скорость определяется путем деления объемного расхода V на поперечное сечение аппарата F ;

ρ_2 – плотность газа (воздуха), кг/м³.

Режим эффективной работы аппарата [4] соответствует значениям F^* - фактора, лежащих в пределах $0,48 < F^* < 2,8$, или $0,48 < \omega \sqrt{\rho_2} < 2,8$. Откуда

$$\frac{0,48}{\sqrt{\rho_2}} < \omega < \frac{2,8}{\sqrt{\rho_2}}.$$

Подставляя в данное неравенство формулу для определения фиктивной скорости, получим

$$\frac{0,48}{\sqrt{\rho_2}} < \frac{V}{F} < \frac{2,8}{\sqrt{\rho_2}}.$$

Далее, подставив численные значения плотности воздуха, кг/м³, и объемного расхода, м³/с, находится диапазон площадей поперечного сечения аппарата, откуда, зная, что аппарат цилиндрический, рассчитываются верхний и нижний значения диаметров, при которых аппарат будет работать эффективно. Из этого диапазона выбирается наименьший ГОСТовский размер. По каталогу, выданному преподавателем, выбирается колпачковая тарелка соответствующего принятому диаметру аппарата размера и выписываются все сведения относительно выбранной тарелки. Размер обечайки соответствует стандартному диаметру.

Расчет устойчивого режима барботажа

Фиктивная скорость газа в аппарате, м/с, рассчитывается по формуле

$$\omega = \frac{V}{F_6},$$

где V – объемный расход газа, м³/с;

F_6 – внутренняя площадь сечения аппарата, м².

Скорость газа, м/с, в патрубках колпачков будет равна

$$\omega_0 = \frac{V}{F_n},$$

где F_n – площадь сечения газовых патрубков, м².
Смена режимов барботажа определяется величиной

$$m = \frac{\omega_0}{h_0}, \quad (2)$$

где ω_0 – скорость газа в области контакта с жидкостью, м/с, принимается равной скорости газа в патрубках;

h_0 – запас жидкости на тарелке, м.

Режим устойчивого барботажа лежит в пределах значений $1 < m < 50$, т.е. $\omega_0/50 < h_0 < \omega_0$. В формуле (2) не учтены свойства жидкой и газовой фаз, а также геометрия тарелки, следовательно, запас жидкости на тарелке (высота переливного устройства) принимается на 20 – 30% больше минимальной: $h_0 = 0,25$ м.

Высота слоя жидкости над водосливом

$$\Delta h = \left(\frac{Q}{1,85 \cdot L_c \cdot K} \right)^{2/3},$$

где Q – объемный расход абсорбента, м³/с;

L_c – длина сливной перегородки, м;

$K = 0,5$ – отношение плотности пены к плотности светлой жидкости.

Рассчитывается ее объемный расход (м³/с) по формуле

$$Q = \frac{L}{\rho_{ж}}.$$

Уровень воды на тарелке (рис. 6) определяется как сумма высоты уровня сливной перегородки h_0 и урс

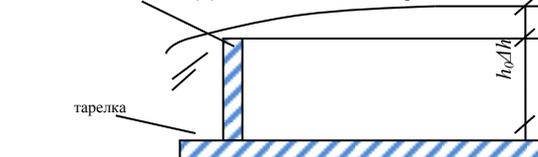


Рис. 6. К расчету уровня воды H над водосливом

Практическая работа №9 Аппаратурное оформление процесса абсорбции

Практическое занятие проводится в форме круглого стола. При подготовке необходимо обратить внимание на конструкции аппаратов для осуществления процесса абсорбции и разобраться с принципами действия данных аппаратов. Вопросы для обсуждения:

1. Конструкции и принцип действия поверхностных абсорберов.
2. Конструкции и принцип действия барботажных абсорберов.
3. Конструкции и принцип действия распылительных абсорберов.

На обсуждение каждого вопроса отводится 25 минут, после чего ведущий резюмирует все выступления.

Практическая работа №10 Расчет адсорберов

На данном практическом занятии решается задача, приведенная ниже.

Определить требуемое количество активного угля, высоту слоя адсорбента и диаметр адсорбера периодического действия для поглощения паров бензина из его смеси с воздухом.

Расход паровоздушной смеси $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Начальная концентрация бензина $\bar{C}_0 = 0,02 \text{ кг}/\text{м}^3$. Скорость паровоздушной смеси $\omega = 0,25 \text{ м}/\text{с}$, считая на полное сечение аппарата, динамическая активность угля по бензину 7% (масс.), остаточная активность после десорбции 0,8% (масс.), насыпная плотность угля $\rho_{\text{нас}} = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$. Продолжительность десорбции, сушки и охлаждения адсорбента составляет 1,5 ч. Начертите схему рассчитанного аппарата с соблюдением масштаба.

Практическая работа №11 **Методы каталитической, биологической и термической очистки** **отходящих газов**

Занятие проводится в форме "круглого стола". При подготовке следует акцентировать внимание на конструкциях и принципах действия аппаратов, в которых реализуются каталитические, биологические и термические методы очистки отходящих газов промышленных предприятий. Вопросы для обсуждения приведены ниже.

1. Конструкции и принцип действия аппаратов для термической очистки газов.
2. Конструкции и принцип действия аппаратов для биологической очистки газов.
3. Конструкции и принцип действия аппаратов для каталитической очистки газов.

На обсуждение каждого вопроса отводится 25 минут, после чего ведущий резюмирует все выступления.

3. Групповые и индивидуальные консультации

Слово «консультация» латинского происхождения, означает «совещание», «обсуждение».

Консультации проводятся в следующих случаях:

- когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;
- с целью оказания консультативной помощи в самостоятельной работе (при написании рефератов, эссе, контрольных работ, расчетно-графических работ, выполнении курсовых работ (проектов), подготовке к промежуточной аттестации, участию в конференции и др.);
- если обучающемуся требуется помощь в решении спорных или проблемных вопросов возникающих при освоении дисциплины (модуля).

Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения. В частности, если затруднение возникло при изучении теоретического материала, то конкретно укажите, что вам непонятно, на какой из пунктов обобщенных планов вы не смогли самостоятельно ответить.

Если же затруднение связано с решением задачи или оформлением отчета о лабораторной работе, то назовите этап решения, через который не могли перешагнуть, или требование, которое не можете выполнить.

4. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Успешное освоение компетенций, формируемых учебной дисциплиной (модуля), предполагает оптимальное использование времени для самостоятельной работы.

Самостоятельная работа обучающегося - деятельность, которую он выполняет без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию, под его руководством и наблюдением. Обучающийся, обладающий навыками самостоятельной работы, активнее и

глубже усваивает учебный материал, оказывается лучше подготовленным к творческому труду, к самообразованию и продолжению обучения.

Самостоятельная работа может быть аудиторной и внеаудиторной. Границы между этими видами работ относительны, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется во время проведения учебных занятий по дисциплине (модулю) по заданию преподавателя. Включает в себя:

- выполнение самостоятельных работ, участие в тестировании;
- выполнение контрольных, практических и лабораторных работ;
- решение задач и упражнений, составление графических изображений (схем, диаграмм, таблиц и т.п.);
- работу со справочной, методической, специальной литературой;
- оформление отчета о выполненных работах;
- подготовка к дискуссии, выполнения заданий в деловой игре и т.д.

Внеаудиторная самостоятельная работа (в библиотеке, в лаборатории МГТУ, в домашних условиях, в специальных помещениях для самостоятельной работы в МГТУ и т.д.) является текущей обязательной работой над учебным материалом (в соответствии с рабочей программой), которая не предполагает непосредственного и непрерывного руководства со стороны преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа может включать в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям, лабораторным работам и др.) и выполнение необходимых домашних заданий;
- работу над отдельными темами дисциплины (модуля), вынесенными на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой;
- проработку материала из перечня основной и дополнительной литературы по дисциплине, по конспектам лекций;
- написание рефератов, докладов, отчетов, подготовка мультимедийных презентаций, составление глоссария и др.;
- подготовку ко всем видам практики и выполнение заданий, предусмотренных их рабочими программами;
- выполнение и расчетно-графических работ;
- подготовку ко всем видам текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации, в том числе выполнение и подготовку к процедуре защиты выпускной квалификационной работы;
- участие в исследовательской, проектной и творческой деятельности в рамках изучаемой дисциплины (модуля);
- другие виды самостоятельной работы.

Содержание самостоятельной работы определяется рабочей программой дисциплины (модуля), практики, программой ГИА. Задания для самостоятельной работы имеют четкие календарные сроки выполнения.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение обучающимся следующих этапов:

1. Определение цели самостоятельной работы.
2. Конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи.
3. Самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи.
4. Выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения).
5. Планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи.
6. Реализация программы выполнения самостоятельной работы.

7. Самоконтроль выполнения самостоятельной работы, оценивание полученных результатов.

8. Рефлексия собственной учебной деятельности.

Работа с научной и учебной литературой

Работа с учебной и научной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к контрольным работам, тестированию, зачету.

В процессе работы с учебной и научной литературой студент может:

- делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике);
- составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора);
- готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы);
- создавать конспекты (развернутые тезисы, которые).

Выбрав нужный источник, следует найти интересующий раздел по оглавлению или алфавитному указателю, а также одноименный раздел конспекта лекций или учебного пособия. В случае возникших затруднений в понимании учебного материала следует обратиться к другим источникам, где изложение может оказаться более доступным. Необходимо отметить, что работа с литературой не только полезна как средство более глубокого изучения любой дисциплины, но и является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего выпускника.

Подготовка информационного сообщения

Это вид самостоятельной работы по подготовке небольшого по объему устного сообщения для озвучивания на семинаре, практическом занятии. Сообщаемая информация носит характер уточнения или обобщения, несет новизну, отражает современный взгляд по определенным проблемам.

Сообщение отличается от докладов и рефератов не только объемом информации, но и ее характером - сообщения дополняют изучаемый вопрос фактическими или статистическими материалами. Возможно письменное оформление задания, оно может включать элементы наглядности (иллюстрации, демонстрацию).

Регламент времени на озвучивание сообщения - до 5 мин.

Подготовка доклада

Это публичное сообщение, которое содержит информацию и отражает суть вопроса или исследования применительно к определенной теме, является эффективным средством разъяснения результатов проделанной работы.

Обычно в качестве тем для докладов преподавателем предлагается тот материал учебного курса, который не освещается в лекциях, а выносится на самостоятельное изучение обучающимися. Поэтому доклады, сделанные обучающимися на семинарских занятиях, с одной стороны, позволяют дополнить лекционный материал, а с другой – дают преподавателю возможность оценить умения обучающихся самостоятельно работать с учебным и научным материалом.

Подготовка доклада требует от обучающегося самостоятельности и серьезной интеллектуальной работы, которая принесет наибольшую пользу, если будет включать с себя следующие этапы:

- изучение наиболее важных научных работ по данной теме, перечень которых, как правило, дает сам преподаватель;
- анализ изученного материала, выделение наиболее значимых для раскрытия темы доклада фактов, мнений разных ученых и научных положений;
- обобщение и логическое построение материала доклада, например, в форме развернутого плана;

- написание текста доклада с соблюдением требований научного стиля.

Построение доклада, как и любой другой научной работы, традиционно включает три части: вступление, основную часть и заключение. Во вступлении указывается тема доклада, устанавливается логическая связь ее с другими темами или место рассматриваемой проблемы среди других проблем, дается краткий обзор источников, на материале которых раскрывается тема, и т.п. В заключении обычно подводятся итоги, формулируются выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы и т.п.

Аппаратурное оформление очистного оборудования для разделения газовых гетерогенных систем

После изучения данной темы студент должен иметь представление об основных загрязняющих веществах: твердых, жидких, газообразных и их смесей; физико-химических, механических и токсикологических свойствах этих примесей. Знать основные источники загрязнений, основные методы и особенности очистки отходящих газов от аэрозолей. Знать в общих чертах основные аппараты очистки газов: фильтры, циклоны, пылеосадительные камеры, электрофильтры, газопромыватели (скрубберы) и другое. Уметь перечислить свойства пылей и их влияние на выбор метода очистки газовых выбросов предприятий.

Пылеулавливание - достаточно распространенный метод защиты атмосферы. Основные способы отделения пыли: гравитационное осаждение, инерционное отделение, ударное действие, электростатическое отделение. Наиболее распространенным по ряду причин является улавливание пылей в циклонах различной конструкции, поэтому при изучении данной темы студенту рекомендуется основное внимание уделить конструктивным особенностям циклонов, применяемых для улавливания абразивных пылей, волокнистых пылей и для очистки влажных газовых выбросов промпредприятий.

Улавливание мелкодисперсных пылей осуществляется в фильтрах и электрофильтрах различных конструкций. При рассмотрении конструкций фильтров следует обратить внимание на области применения аппаратов, их достоинства и недостатки; хорошо изучить принципиальные схемы и уметь описать принцип действия изучаемых аппаратов.

Кроме сухих, существуют мокрые способы пылеочистки, которые реализуются в скрубберах, барботажных газопромывателях и т.д. Улавливание капелек жидкостей из отходящих газов предприятий для некоторых видов промышленных производств является актуальной задачей. Необходимо знать, каким образом можно улавливать туманы, эффективность и типоразмерные ряды современного оборудования, правильно осуществить выбор метода очистки, иметь навыки расчета и проектирования аппаратов.

Самостоятельная работа студента состоит в подготовке к контрольной работе по данной теме и включает проработку вопросов, указанных ниже.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Каким образом классифицируются загрязняющие вещества, выбрасываемые предприятиями в атмосферный воздух?
2. Приведите классификацию методов очистки газовых выбросов промышленных предприятий.
3. Перечислите аппараты, в которых реализуется осаждение твердых примесей из газовых выбросов промышленных предприятий.
4. Перечислите аппараты, в которых реализуется извлечение газовых и парообразных

примесей из отходящих газов предприятий.

5. Перечислите свойства пылей.
6. Каким образом свойства пылей влияют на выбор метода очистки?
7. Какие природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы Вы знаете?
8. Дайте классификации промышленным выбросам.
9. Изобразите принципиальную схему и опишите принцип действия пылесадительной камеры, циклона, динамического пылеуловителя, инерционного пылеуловителя, электрофильтра, волокнистого и зернистого фильтров. Укажите достоинства и недостатки, эффективность очистки.
10. Каким образом можно повысить эффективность осаждения частиц пыли в пылесадительной камере? Обоснуйте ответ.
11. Приведите, в качестве примера диапазон по производительности типоразмерного ряда циклонов одной из марок. Расшифруйте УЦ - 1800 - ЗП.
12. Предложите технологическую схему очистки воздуха от пыли, если известно, что дисперсный состав пыли находится в диапазоне от 1 до 1000 мкм, концентрация пыли в выбросе 11 г/м³, пыль не подлежит возврату в технологический процесс, требуемая эффективность очистки - 90% по всем фракциям.
13. Какие способы подвода и отвода газа существуют у циклонов. Изобразите их схемы.
14. От чего зависит способ отвода газа из циклона?
15. Изобразите принципиальную схему и опишите принцип действия насадочных, тарельчатых и распылительных скрубберов. Укажите достоинства и недостатки, эффективность очистки.
16. Изобразите принципиальную схему ротоклона. Опишите принцип его действия.
17. Изобразите принципиальную схему и опишите принцип действия скоростного газопромывателя. Укажите достоинства и недостатки, эффективность очистки.

Аппаратурное оформление очистного оборудования для разделения газовых гомогенных систем

Газовые примеси, содержащиеся в промышленных выбросах, можно извлекать абсорбцией, адсорбцией, катализом и сжиганием. Это способы реализуют в абсорберах, адсорберах, устройствах для каталитического и термического обезвреживания, а также в комбинированных установках на их основе.

При изучении темы студент должен научиться изображать принципиальные схемы абсорбции: прямо- и противоточные, без рециркуляции, с рециркуляцией газа и жидкости, многоступенчатой; приводить классификацию аппаратов (абсорберов). Следует обратить внимание на виды распределителей жидкости и от каких факторов зависит выбор конкретного распределителя в данном аппарате. Эффективность очистки от газовых примесей зависит, кроме прочего, от вида насадки, применяемой в абсорбере насадочного типа. Поэтому студент должен знать виды насадок, их удельную поверхность.

При изучении конструкций барботажных абсорберов следует обратить внимание на виды тарелок и границы их применения; при изучении распылительных абсорберов - на эффективность их работы.

Самостоятельная работа - это неотъемлемая часть курсового проектирования барботажной абсорбционной колонны, в ходе которого студент должен получить навык расчета аппаратов такого типа. Наиболее сложную часть при расчете аппарата студенты выполняют на практических занятиях, остальное - самостоятельно, подробно вся работа расписана в методических указаниях к курсовому проектированию.

Принципиальные схемы адсорбции. Конструкции вертикального и горизонтального адсорбера периодического действия. Конструкции непре-рывнодействующих адсорберов. Одноступенчатые и многоступенчатые адсорберы с псевдооживленным слоем адсорбента. Расчет и конструирование адсорберов. Аппараты для очистки отходящих газов ионным обменом.

Схемы установок каталитического обезвреживания отходящих газов предприятий. Схемы термических нейтрализаторов промышленных газовых отходов. Устройство аппаратов для биологической очистки газов.

Принципы их действия. Самостоятельная работа студента состоит в подготовке к контрольной работе по данной теме и включает проработку вопросов, указанных ниже.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Перечислите методы извлечения газообразных примесей из отходящих газов промышленных предприятий. Дайте определение каждому.
2. Приведите принципиальные схемы адсорбции. Дайте необходимые пояснения.
3. Приведите классификацию абсорберов.
4. Изобразите схемы поверхностных абсорберов, расскажите принцип действия каждого.
5. Изобразите схему насадочных абсорберов. Опишите принцип их действия.
6. Перечислите виды распределителей жидкости. Какой критерий является основным при выборе распределителя? Почему?
7. Изобразите схему и опишите принцип действия барботажного абсорбера.
8. Какие виды тарелок для колонных аппаратов Вы знаете?
9. Изобразите схему и опишите принцип действия распылительного абсорбера. Какова эффективность очистки в данном аппарате?
10. Изобразите принципиальные схемы адсорбции. Дайте необходимые пояснения.
11. Изобразите схемы основных сорбционных аппаратов, расскажите принцип действия каждого.
12. Предложите способ извлечения оксидов азота из промышленного выброса. Обоснуйте свой выбор.
13. Предложите способ извлечения формальдегида из промышленного выброса. Обоснуйте свой выбор.
14. Изобразите схему установки ионного обмена газов. Опишите принцип ее действия.
15. Изобразите схемы и опишите принцип действия термического нейтрализатора без теплообменников и с теплообменником.
16. Приведите пример схемы установки каталитического обезвреживания отходящих газов (по выбору студента).

17. Приведите схему и опишите принцип действия аппарата для биологической очистки газов.

Выполнение расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа (РГР) - самостоятельная письменная работа студента, в основе которой лежит решение сквозной задачи, охватывающей несколько тем дисциплины и включающей осуществление расчетов, обоснований и выводов.

РГР требуют знаний по сразу нескольким дисциплинам, а также умение работать с профессиональной литературой, таблицами, анализировать данные.

РГР должна представлять собой единую связную цепочку из письменных умозаключений и математических расчетов, которые приводят к решению графической задачи. В состав работы входят формулировка задания, исходные данные. Затем приводят практические решения, исходя из рациональности их применения, в завершении пишут выводы по задаче, анализ информации, отраженной в виде графиков, диаграмм, рисунков. Текст должен быть написан без грамматических и орфографических ошибок. Процесс создания работы подразумевает также оформление титульного листа, оглавления, списка литературы, и расшифровку всех терминов и символов, которые использованы в решении.

Части РГР:

1) Описательная часть начинается с пояснительной записки-введения, где обосновываются аргументы в пользу значимости этой задачи для практической деятельности - производства и т.д. Далее идет научная теория, основные законы, модели и термины, которые нужны для решения.

2) В аналитической части есть формулировка задания и характеристика объекта исследования. Здесь студент проводит математические расчеты и делает все необходимые графики, схемы. Все данные получают графическое отображение.

3) Выводы подразумевают самостоятельные рассуждения обучающегося о процессе решения задачи и ее результатах, оценка результатов, их реалистичности, применимости в жизни, а также рекомендации.

Требования к содержанию и оформлению РГР

Расчетно-графическая работы имеет две составные части: расчетно-пояснительную записку и графическую часть. Расчетно-пояснительная записка оформляется ручным или машинописным способами на листах формата А4 с рамкой и основными надписями по формам 2 и 2а ГОСТ 2.104-2006, текстовая часть - по ГОСТ 2.105-95 и содержит следующее:

1. титульный лист;
2. содержание;
3. исходные данные на проектирование;
4. определение физических параметров процесса;
5. построение равновесной линии процесса;
6. материальный баланс;
7. построение рабочей линии процесса и определение числа теоретических тарелок;
8. расчет конструктивных размеров аппарата;
9. список использованных источников.

Графическая часть содержит один лист формата А1 или два листа формата А2 с рамками и основными надписями по 2 и 2а ГОСТ 2.104-2006. На первом листе вычерчивается рассчитанный абсорбер, на втором - кол-пачковая тарелка и разрез колпачка. Соблюдение

требований ГОСТов ЕСКД обязательно! Применение компьютерных программ Autocad, Компас и т.п. при оформлении графической части проекта приветствуется.

Задание на РГР

Целью расчетно-графической работы является расчет аппарата для извлечения газообразного загрязняющего вещества методом абсорбции - барботажной абсорбционной колонны.

Для выбора задания необходимо знать две последние цифры студенческого билета (зачетной книжки) и, воспользовавшись таблицами 1 - 4, оформить первый раздел «Исходные данные». В этот же раздел необходимо внести следующие условия:

-плотность отходящего газа принять равной плотности воздуха при заданных термобарических условиях;

-массовое содержание загрязняющего вещества в поступающем в аппарат абсорбенте принять равным 0 г/м .

Таблица 1

Извлекаемое загрязняющее вещество

Предпоследняя цифра студенческого билета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Загрязняющее вещество	HCl	HF	SO ₂	H ₂ S	Cl ₂	HCl	HF	SO ₂	H ₂ S	Cl ₂

Таблица 2

Температура отходящих газов предприятия, °С

Последняя цифра / Пред-последняя цифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
3	35	36	37	38	39	40	15	16	17	18
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
5	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
6	39	40	15	16	17	18	19	20	21	22
7	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
8	33	34	35	36	37	38	39	40	15	16
9	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
0	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Таблица 3

Давление и средний объемный расход газа в абсорбере

Последняя цифра студенческого билета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Давление, МПа	0,13	0,14	0,15	0,133	0,144	0,155	0,138	0,142	0,151	0,137
Средний расход газа при н.у., тыс. м ³ /ч	10	11	12	13	9	8	7	15	17	19

Таблица 4

Содержание, г/м³, загрязняющего вещества в воздухе при н.у.

Последняя цифра / Пред-последняя цифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,1	1,2	1,3
4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	2,1	2,2	2,3	2,4
5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,1	1,2	1,3	1,4
6	2,7	2,8	2,9	3,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
7	2,8	2,9	3,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
8	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
9	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2
0	1,7	1,8	1,9	2,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

1. Определение физических параметров процесса

В данном разделе студент определяет по литературным данным молекулярные массы и плотности воздуха, извлекаемого компонента и абсорбента: для извлечения HCl и HF - воды, для SO₂ - диметиланилина, для H₂S - этаноламина, для Cl₂ - карбоната натрия (кальцинированной соды); поверхностное натяжение на границе раздела «абсорбент - воздух». После этого необходимо рассчитать плотности газов при заданных термобарических условиях. Плотность газа при давлении p и температуре T находится по уравнению Клайперона [3]

$$\rho = \rho_0 \frac{pT_0}{p_0T}, \quad (1)$$

где ρ_0 - плотность газа при давлении $p=760$ мм рт. ст. и температуре $T = 273,15$ К, кг/м³;

T_0 - температура при н.у., $T_0= 273,15$ К;

p_0 - атмосферное давление при н.у., $p_0=760$ мм рт. ст.

2. Построение равновесной линии процесса

Построение равновесной линии процесса $Y = f(X)$ осуществляется на основании данных равновесия [5], изображенных на рис. 1 - 5, с предварительным пересчетом концентраций или парциальных давлений в единицы измерения кг/кг инертного вещества. Формулы для такого перевода приведены в разделе 6 [3].

$\bar{Y}, \text{г/кг}$

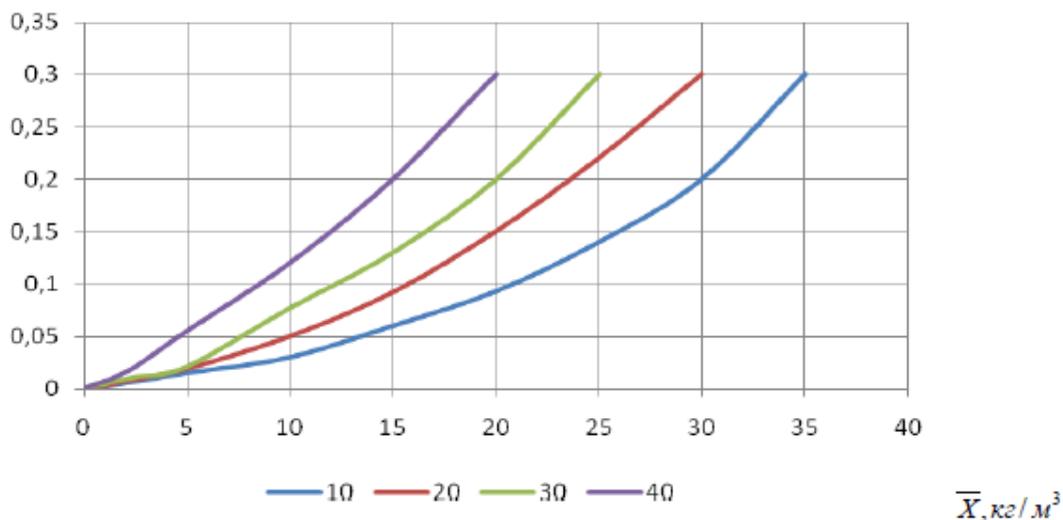


Рис. 1. Кривые равновесия системы «SO₂ – диметиланилин» при различных температурах (°C)

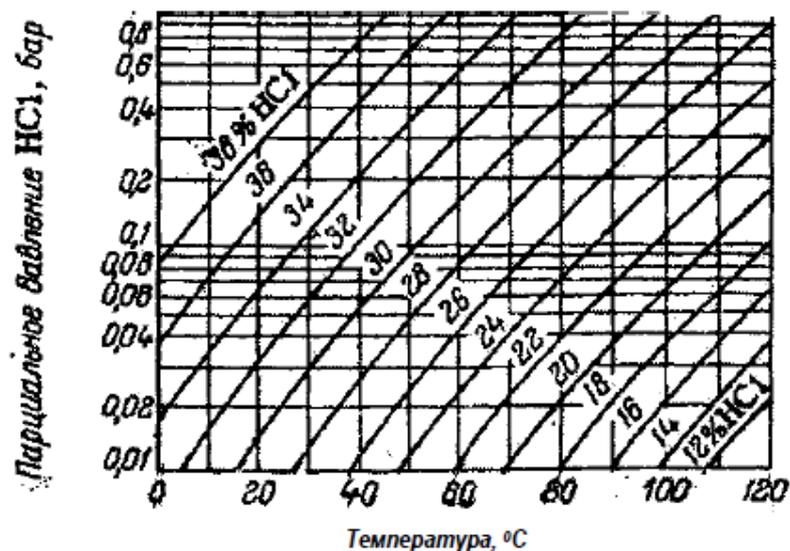


Рис. 2. Кривые равновесия системы «HCl – вода»

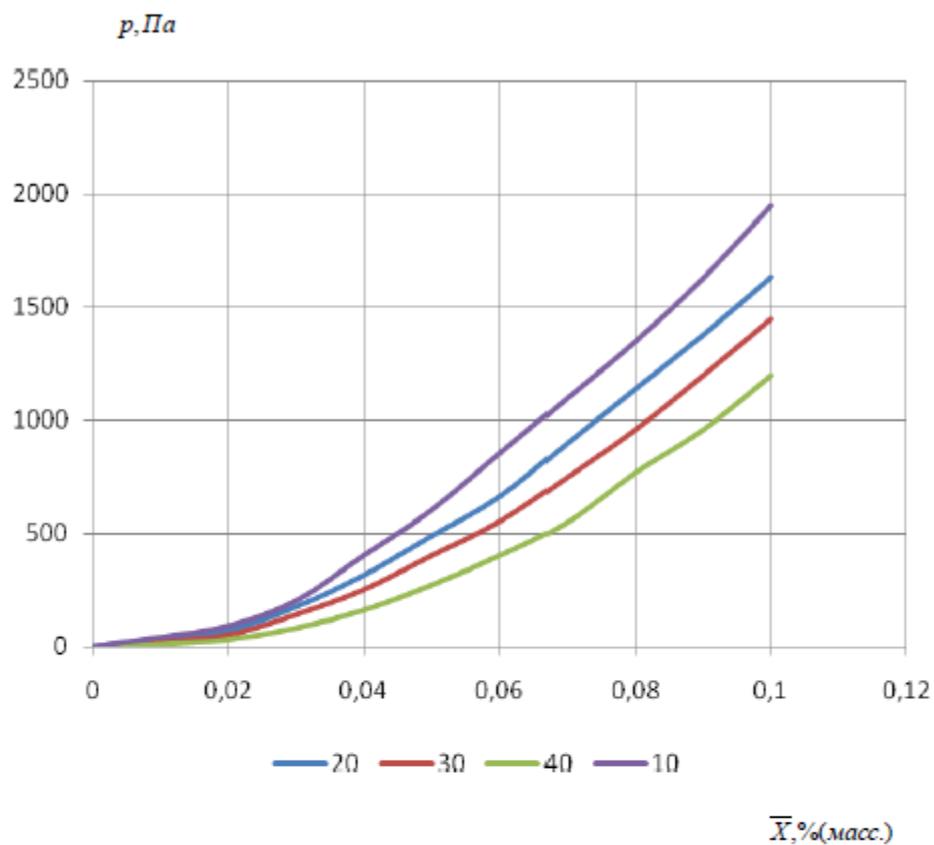


Рис. 3. Кривые равновесия «HF - вода» при различных температурах ($^{\circ}\text{C}$)

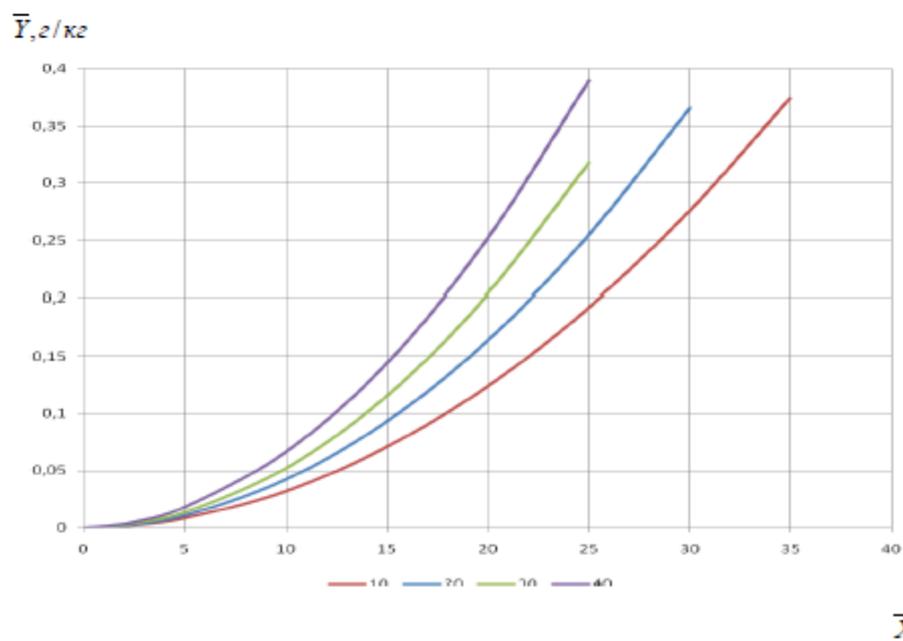


Рис. 4. Кривые равновесия «Cl₂ – карбонат натрия» при различных температурах ($^{\circ}\text{C}$)

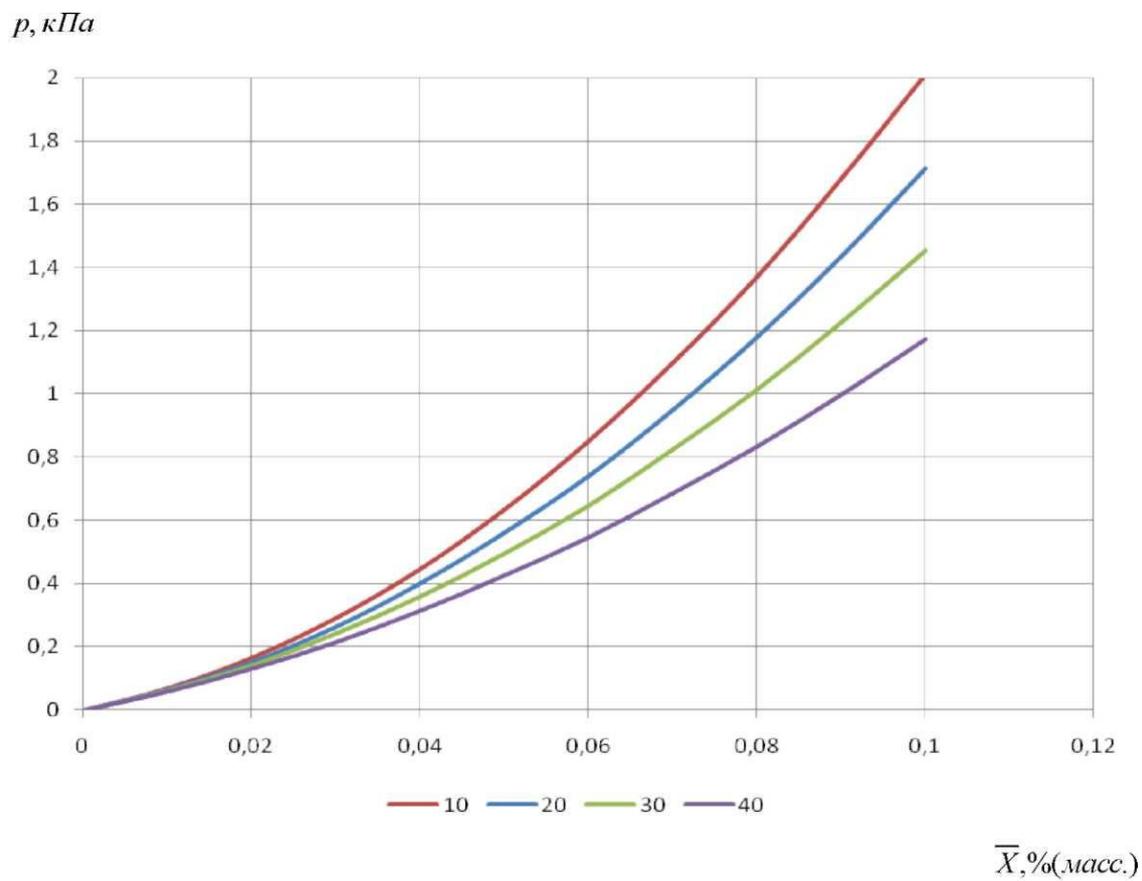


Рис. 5. Кривые равновесия «H₂S – этаноламин» при различных температурах (°C)

3. Материальный баланс

Материальный баланс процесса абсорбции определяется уравнением [3]

$$M = G(\overline{Y}_H - \overline{Y}_K) = \pm L(\overline{X}_K - \overline{X}_H), \quad (2)$$

где M - массовый расход поглощаемого компонента, кг/с; G - массовый расход инертного газа, кг/с;

\overline{Y}_H - начальная концентрация поглощаемого компонента, кг/кг инертного газа;

\overline{Y}_K - конечная концентрация поглощаемого компонента, кг/кг инертного газа;

L - массовый расход жидкого поглотителя (абсорбента), кг/с;

\overline{X}_K - начальная концентрация жидкости, кг/кг жидкого поглотителя;

\overline{X}_H - конечная концентрация жидкости, кг/кг жидкого поглотителя.

Наиболее предпочтительной является противоточная схема абсорбции, поэтому дальнейшие расчеты производятся без рассмотрения прямотока. Кроме того, для определения массового расхода абсорбента необходимо сделать пересчет исходных данных в необходимые единицы измерения.

3.1. Массовый расход воздуха

Массовый расход воздуха G , кг/с, определяется исходя из объемного расхода и плотности газа

$$G = \rho * V, \quad (3)$$

где ρ - плотность газа при давлении p и температуре T , кг/м³;

V - объемный расход при тех же термобарических условиях, м³/с.

3.2. Концентрация примеси

Концентрация примеси, кг/кг воздуха, определяется по формуле [3]

$$\overline{Y}_H = \frac{\overline{C}_y}{\rho - \overline{C}_y}, \quad (4)$$

где \overline{C}_y - концентрация примеси, кг/м³;

ρ - плотность воздуха при тех же термобарических условиях, кг/м³;

12

Эффективность очистки в абсорберах составляет от 85 до 99%. Для расчетов курсового проекта принимается 90%, из чего следует, что $\overline{Y}_K = \overline{Y}_H \cdot 0,1$.

В жидкой фазе концентрация примеси в конце аппарата принимается следующим образом. По равновесной линии, зная значение начальной концентрации извлекаемого компонента в газовой фазе, определяется соответствующая концентрация в жидкой фазе X_{Kp} , кг/кг или г/кг (как удобнее).

Поскольку равновесие в аппаратах никогда не достигается, X_K принимается примерно на 20% меньше равновесного значения:

$$\overline{X}_K = 0,8 \cdot \overline{X}_{Kp} \text{ кг/кг (г/кг)}$$

$X_H = 0$ по исходным данным курсового проектирования.

3.3 Массовый расход абсорбента

Массовый расход абсорбента [3]

$$L = \frac{G(\bar{Y}_H - \bar{Y}_K)}{(\bar{X}_K - \bar{X}_H)} \quad (5)$$

4. Построение рабочей линии процесса и определение числа теоретических тарелок

Уравнение рабочей линии процесса при противотоке определяется из уравнения материального баланса (2) по следующей формуле

$$\bar{Y} = \frac{L}{G}\bar{X} + \frac{G\bar{Y}_K - L\bar{X}_K}{G} \quad (6)$$

Подставив в (6) имеющиеся данные, находится уравнение рабочей линии процесса и строится совмещенный график рабочей и равновесной линий. Второй способ построения рабочей линии заключается в соединении прямой линией точек с координатами $(X_H; Y_K)$ и $(X_K; Y_H)$

Число теоретических тарелок находится следующим образом. От точки на рабочей линии с ординатой Y_H проводится вертикаль до пересечения с равновесной линией. Из полученной точки проводится горизонталь до рабочей линии. Построение продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты заданные значения X_H и Y_K . Число точек пересечения с линией равновесия дает число теоретических тарелок, которое составляет количество ступеней изменения концентрации.

5. Расчет конструктивных размеров аппарата

5.1. Расчет диаметра аппарата

Согласно ГОСТ 21944-76 «Аппараты колонные стальные. Ряд диаметров. Расстояние между тарелками» внутренний диаметр колонного аппарата, изготовляемого из листовой стали с контактными устройствами в виде тарелок, следует выбирать из ряда: 400; 500; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2200; 2400; 2600; 2800; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000; 4500; 5000; 5500; 5600; 6000; 6300; 6400; 7000; 7500; 8000; 8500; 9000; 9500; 10000 мм, после приведенного ниже расчета.

Эффективная работа колпачковых тарелок определяется величиной F^* - фактора [2], определяемого по формуле

$$F^* = \omega \sqrt{\rho_2}, \quad (7)$$

где ω - фиктивная скорость газа, м/с, фиктивная скорость определяется путем деления объемного расхода V на поперечное сечение аппарата F ; ρ_2 - плотность газа (воздуха), кг/м³. Режим эффективной работы аппарата [2] соответствует значениям F -

фактора, лежащих в пределах $0,48 < F^* < 2,8$, или $0,48 < \omega \sqrt{\rho_2} < 2,8$. Откуда

$$\frac{0,48}{\sqrt{\rho_2}} < \omega < \frac{2,8}{\sqrt{\rho_2}}.$$

Подставляя в данное неравенство формулу для определения фиктивной скорости, получим

$$\frac{0,48}{\sqrt{\rho_2}} < \frac{V}{F} < \frac{2,8}{\sqrt{\rho_2}}.$$

Далее, подставив численные значения плотности воздуха, кг/м³, и объемного расхода, м³/с, находится диапазон площадей поперечного сечения аппарата, откуда, зная, что аппарат цилиндрический, рассчитываются верхний и нижний значения диаметров, при которых аппарат будет работать эффективно. Из этого диапазона выбирается наименьший ГОСТов-ский размер. По каталогу, приведенному на с. 608 - 616 [1], выбирается колпачковая тарелка соответствующего принятому диаметру аппарата размера и выписываются все сведения, имеющиеся в [1] относительно выбранной тарелки. Размер обечайки соответствует стандартному диаметру.

5.2. Расчет устойчивого режима барботажа

Фиктивная скорость газа в аппарате, м/с, рассчитывается по формуле

$$\omega = \frac{V}{F_e}, \quad (8)$$

где V - объемный расход газа, м³/с;

F_e - внутренняя площадь сечения аппарата, м². Скорость газа, м/с, в патрубках колпачков будет равна

$$\omega_0 = \frac{V}{F_n} \quad (9)$$

где F - площадь сечения газовых патрубков, м².

Смена режимов барботажа определяется величиной

$$m = \frac{\omega_0}{h_0}, \quad (10)$$

где ω_0 - скорость газа в области контакта с жидкостью, м/с, принимается равной скорости газа в патрубках;

h_0 - запас жидкости на тарелке, м.

Режим устойчивого барботажа лежит в пределах значений $1 < m < 50$, т.е. $co_0/50 < h_0 < co_0$. В формуле (10) не учтены свойства жидкой и газовой фаз, а также геометрия тарелки, следовательно, запас жидкости на тарелке (высота переливного устройства) принимается на 20 - 30% больше минимальной: $h_0 = 0,25$ м.

Высота слоя жидкости над водосливом [4]

$$\Delta h = \left(\frac{Q}{1,85 \cdot L_c \cdot K} \right)^{2/3} \quad (11)$$

где Q - объемный расход абсорбента, м³/с; L_c - длина сливной перегородки, м;

$K = 0,5$ - отношение плотности пены к плотности светлой жидкости. Массовый расход абсорбента рассчитывался ранее (п. 3.3) по формуле (5). Зная его значение и плотность жидкости, рассчитывается ее объемный расход (м³/с) по формуле

$$Q = \frac{L}{\rho_x}.$$

Уровень воды на тарелке (рис. 6) определяется как сумма высоты уровня сливной перегородки $h_{0и}$ уровня воды над водосливом: $H = h_{0и} + \Delta h$.

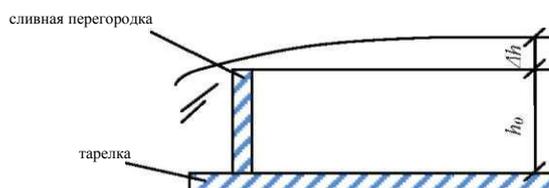


Рис. 6. К расчету уровня воды H над водосливом

5.3. Размеры колпачков

Размеры колпачков выписываются из ГОСТ 9634-81 «Колпачки кап-сульные стальные колонных аппаратов» (приложение 1).

5.4. Рабочая высота аппарата

Для определения количества реальных колпачковых тарелок n_p и аппарата необходимо знать число теоретических тарелок n_m и КПД тарелки η :

$$n_p = \frac{n_m}{\eta} \quad (13)$$

КПД тарелок обычно находится в диапазоне значений от 25 до 60%, причем большее значение КПД соответствует меньшему значению температуры, при которой проводится процесс абсорбции, т.к. растворимость газов в жидкостях с увеличением температуры уменьшается.

Рабочая высота аппарата будет равна [4]

$$H = h(n_p - 1) + 2 l_{кр.} \quad (14)$$

где h - расстояние между тарелками, м;

$l_{кр.}$ - расстояние от нижней тарелки до днища и от верхней тарелки до крышки, м.

Согласно ГОСТ 21944-76 «Аппараты колонные стальные. Ряд диаметров. Расстояние между тарелками» расстояние между тарелками колонных аппаратов следует выбирать из ряда: 200; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550; 600; 650; 700; 750; 800; 850; 900; 1000; 1200 мм.

Расстояние до крышки и днища принимается равным расстоянию между тарелками. Впоследствии, после расчета диаметров патрубков входа и выхода фаз, это расстояние может быть увеличено или уменьшено.

5.5. Диаметры патрубков входа и выхода фаз

Диаметры патрубков входа и выхода жидкости и газа рассчитываются по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega}}$$

где V - объемный расход фазы, м³/с; ω - скорость фазы, м/с. Скорость газа, подаваемого вентилятором в абсорбер, равна 35 м/с, а жидкости - 1 м/с. На выходе из аппарата скорости фаз в 1,5 - 2 раза ниже скоростей на входе [4].

6. Гидравлическое сопротивление тарелок

Гидравлическое сопротивление тарелок ΔP , Па, принимается равным произведению гидравлического сопротивления тарелки Δp_m , Па, на количество тарелок n в аппарате

$$\Delta P = \Delta p_m \cdot n. \quad (16)$$

Гидравлическое сопротивление колпачковой тарелки складывается из суммы сопротивлений сухой тарелки Δp_1 , Па, слоя жидкости на тарелке Δp_2 , Па, и сопротивления Δp_3 , Па, создаваемого силами поверхностного натяжения:

$$\Delta p_{\Gamma} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3. \quad (17)$$

Сопротивление сухой тарелки

$$\Delta p_1 = \xi \frac{\rho_g \cdot \omega_{np}}{2} \quad (18)$$

где ξ - коэффициент сопротивления колпачковой тарелки, $\xi = 4 - 5$ [2]; ρ_g - плотность газа, кг/м³ ;
 ω_{np} - скорость газа в прорезях колпачка, м/с.

$$\omega_{np} = \frac{V}{f \cdot n}$$

Сопротивление слоя жидкости на тарелке

$$\Delta p_2 = 1,3 g k \rho_{ж} h_0 \quad (20)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²;

k - коэффициент, учитывающий уменьшение плотности за счет насыщения газом, $k = 0,5$;

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости, кг/м³ ;

h_0 - высота барботажного слоя, м. Высота барботажного слоя [4] рассчитывается по формуле

$$h_0 = a + \frac{l}{2} + \Delta h, \quad (21)$$

где a - расстояние от верхнего края прорези колпачка до верхнего уровня сливной планки;

$l/2$ - половина высоты прорези;

Δh - высота слоя жидкости над сливной перегородкой (рис. 7).

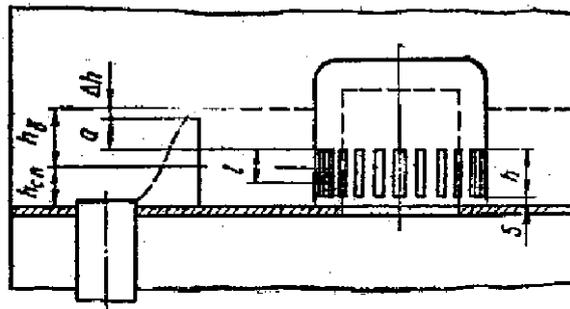


Рис. 7. К расчету высоты барботажного слоя

Сопротивление, создаваемое силами поверхностного натяжения

$$\Delta p_3 = \frac{4\sigma}{d}$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения, Н/м;

$$d = \frac{4s}{\psi}$$

гидравлический диаметр прорези, м (s - площадь прорези, м²,

Для нахождения площади прорези и ее периметра необходимо выполнить следующие построения (рис. 8). Например, колпачок имеет $D=60$ мм, $h=15$ мм, угол 16° . Чертим вертикальную линию - биссектрису угла, отмечаем на ней точку (вершину угла) и отмечаем симметричные относительно биссектрисы углы по 8° . Чертим горизонтальную линию, которая отсекает отрезок размером 4 мм, далее, через 15 мм проводим вторую горизонтальную линию. Получилась равнобедренная трапеция, площадь и периметр которой легко найти.

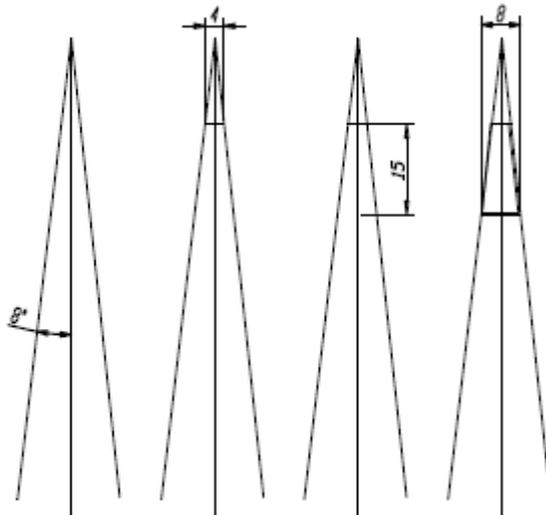


Рис. 8. К расчету гидравлического диаметра прорези

Площадь равнобедренной трапеции будет равна полусумме оснований на высоту

$$s = \frac{1}{2}(a + b)h$$

$$s = \frac{4 + 8}{2} \cdot 15 = 90 \text{ мм}^2 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Для расчета боковых сторон трапеции воспользуемся теоремой Пифагора:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2},$$

$$c = \sqrt{2^2 + 15^2} = 15,13 \text{ мм}$$

Таким образом, периметр прорези (трапеции) будет равен

$$\psi = 2 \cdot 15,13 + 8 + 4 = 42,26 \text{ мм} = 4,226 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

а гидравлический диаметр прорези

$$d = \frac{4 \cdot 9 \cdot 10^{-5}}{4,226 \cdot 10^{-2}} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

5. Методические рекомендации по подготовке обучающегося к промежуточной аттестации

Учебным планом по дисциплине «Аппараты и методы очистки выбросов» предусмотрена(ы) следующая(ие) форма(ы) промежуточной аттестации:

1) экзамен;

Промежуточная аттестация направлена на проверку конечных результатов освоения дисциплины (модуля).

При подготовке к экзамену целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

При повторении материала нежелательно использовать много книг. Основным источником подготовки к экзамену является конспект лекций. Следует запоминать термины и категории, поскольку в их определениях содержатся признаки, позволяющие уяснить их сущность и отличить эти понятия от других. В ходе подготовки обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания категорий и реальных профильных проблем. Подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала. В этот период полезным может быть общение обучающихся с преподавателями по дисциплине на групповых и индивидуальных консультациях.

Подготовку по билету на экзамене надо начинать с того, что помнится лучше всего. Однако, готовясь по одному вопросу, на отдельном листе нужно постоянно кратко записывать и те моменты, которые «всплывают» в памяти и по другим вопросам билета.

Во время экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также, с разрешения экзаменатора, справочной литературой.

По окончании ответа экзаменатор может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы.

Положительным будет стремление обучающегося изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Требования, предъявляемые к аппаратам.
2. Общая характеристика методов очистки газовых выбросов.
3. Основные свойства пылей и эффективность их улавливания.
4. Очистка газов в сухих механических пылеуловителях. Схемы и принцип действия пылесадительных камер, отстойных газоходов, инерционных пылеуловителей.
5. Очистка газов под действием центробежной силы. Классификация циклонных аппаратов. Схемы и принцип действия одиночных и батарейных циклонов.
6. Схемы и принцип действия электрофильтров.

7. Схемы и принцип действия рукавных (тканевых), волокнистых и зернистых фильтров.
8. Очистка в мокрых пылеуловителях. Схемы и принцип действия.
9. Схемы и принцип действия поверхностных, барботажных и распылительных абсорберов.
10. Принципиальные схемы адсорбционных процессов. Их конструктивное исполнение.
11. Методы каталитической и термической очистки газов.