

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Институт архитектуры, строительства и энергетики
Кафедра химических технологий

Пикалов Евгений Сергеевич

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ МАССОПЕРЕНОСА

Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине «Процессы и аппараты массопереноса» для студентов ВлГУ,
обучающихся по направлению 18.04.01 – Химическая технология

Владимир – 2016 г.

Данные методические указания включают рекомендации по проведению практических занятий и варианты заданий, выполняемых на практических занятиях по дисциплине «Процессы и аппараты массопереноса» для студентов направления 18.04.01. «Химическая технология» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 18.04.01. «Химическая технология», рабочей программы дисциплины «Процессы и аппараты массопереноса».

Рассмотрены и одобрены на
заседании УМК направления
18.04.01 «Химическая технология»
Протокол №8 от 22.04.2016 г.
Рукописный фонд кафедры ХТ ВлГУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическое занятие 1. Расчет и выбор насадочного абсорбера.....	4
Практическое занятие 2. Расчет и выбор тарельчатой ректификационной колонны.....	8
Практическое занятие 3. Расчет и выбор распылительной экстракционной колонны....	11
Практическое занятие 4. Расчет рекуперационной адсорбционной установки с неподвижным слоем адсорбента.....	15
Практическое занятие 5. Расчет катионообменной колонны.....	19
Практическое занятие 6. Расчет и выбор барабанной сушилки.....	22
Практическое занятие 7. Расчет и выбор сушилки со взвешенным слоем.....	26
Практическое занятие 8. Расчет и выбор установок для мембранного разделения.....	29
Практическое занятие 9. Расчет и выбор вспомогательного оборудования для проведения массообменных процессов.....	33

Практическое занятие 1. Расчет и выбор насадочного абсорбера

Цель практического занятия: изучить методику расчета основных размеров насадочного абсорбера и выбора стандартного аппарата; изучить методику расчета гидравлического сопротивления абсорбера.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. Так как это первое практическое занятие, то в начале преподаватель рассказывает студентам о плане практических занятий на семестр, о целях и задачах, которые должны быть достигнуты при выполнении заданий на практических занятиях. На вводную беседу отводится 5 – 10 минут.

После этого проводится беседа со студентами по тематике занятия для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 15 – 20 минут, преподаватель объясняет студентам расчетную методику расчета и выбора диаметра насадочного абсорбера. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы.

Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету и выбору диаметра насадочного абсорбера. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики расчета и выбора диаметра насадочного абсорбера и решение задач по ней отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику расчета высоты насадочного абсорбера, выбора конструкционных размеров и расчета гидравлического сопротивления. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету высоты насадочного абсорбера, выбора конструкционных размеров и расчета гидравлического сопротивления. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. По завершении каждый студент делает эскиз получившегося насадочного абсорбера с соблюдением пропорций получившихся размеров.

На объяснение методики расчета высоты насадочного абсорбера, выбора конструкционных размеров и расчета гидравлического сопротивления и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины.

Закljučаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Рассчитать диаметр насадочного абсорбера для извлечения заданного компонента из воздуха водой. Начальное содержание компонента в газе u_n , степень извлечения ϵ . Количество разделяемой газовой смеси V , расход абсорбента L , температура абсорбции t_a , давление абсорбции P_a . Внутренний объем абсорбера заполнен заданным типом насадки.

Исходные данные:

Вариант	Компонент	V , м ³ /с	u_n , масс.%	ϵ	L , кг/с	t_a , °C	P_a , кПа
1	этан	5,6	6,7	0,90	11,8	28	160,0
2	аммиак	5,3	6,0	0,97	13,9	18	146,6
3	ацетилен	3,9	3,5	0,93	9,9	20	163,1
4	метан	5,0	2,7	0,96	14,5	19	181,7
5	этилен	5,9	3,6	0,98	14,1	26	181,4
6	хлористый водород	3,7	5,6	0,95	11,1	27	161,4
7	диоксид серы	5,7	1,0	0,94	9,6	24	171,2
8	бром	3,1	1,3	0,88	13,6	25	150,8
9	оксид углерода	3,0	2,8	0,92	13,3	23	167,2
10	диоксид углерода	4,1	3,4	0,91	11,9	22	183,2

Вариант	Тип насадки	Материал	Вариант	Тип насадки	Материал
1	кольца Рашига (упор)	керамика	6	кольца Рашига (неупор)	керамика
2	кольца Палля(неупор)	сталь	7	кольца Палля(упор)	сталь
3	кольца Рашига (упор)	керамика	8	кольца Рашига (неупор)	керамика
4	кольца Палля (неупор)	сталь	9	кольца Палля (упор)	сталь
5	Седла Берля	керамика	10	седла «Инталокс»	керамика

Примечание: размер элементов насадки студенты выбирают самостоятельно

2. По результатам решения первой задачи определить общую высоту абсорбера и конструктивные размеры его элементов, гидравлическое сопротивление аппарата. Движущая сила процесса равна ΔP , коэффициент массопередачи K .

Исходные данные:

Вариант	ΔP , кПа	$K \cdot 10^{-6}$, кмоль/(Па·м ² ·с)	Вариант	ΔP , кПа	$K \cdot 10^{-6}$, кмоль/(Па·м ² ·с)
1	2,67	1,95	6	2,70	1,81
2	2,07	1,64	7	2,01	2,06
3	2,31	1,83	8	2,65	1,53
4	2,59	1,68	9	2,38	1,85
5	2,62	1,88	10	2,19	1,80

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы абсорбции;
2. Промышленные абсорбенты;
3. Типы насадок и их элементов;
4. Скорость газа и диаметр колонны;
5. Классификация абсорберов;
6. Конструкция насадочного абсорбера.

Список литературы

1. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 215-240;

2. Терехов В.И., Пахомов М.А. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокапельных потоках: монография – Новосибирск: издательство НГТУ, 2009. - 284 с (доступ по интернет-ссылке <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=556665>) – стр. 62-86;

3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 356-366.

Практическое занятие 2. Расчет и выбор тарельчатой ректификационной колонны

Цель практического занятия: изучить методику расчета и выбора диаметра ректификационной колонны; изучить методику расчета гидравлического сопротивления и числа тарелок ректификационной колонны.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику расчета и выбора диаметра ректификационной колонны. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы.

Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету и выбору диаметра ректификационной колонны. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики расчета и выбора диаметра ректификационной колонны, а также решение задач по этой теме отводится примерно 30 – 40 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику расчета гидравлического сопротивления и числа тарелок ректификационной колонны. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается

задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету гидравлического сопротивления и числа тарелок ректификационной колонны. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. По завершении каждый студент делает эскиз получившейся тарельчатой ректификационной колонны с соблюдением пропорций получившихся размеров.

На объяснение методики расчета гидравлического сопротивления и числа тарелок ректификационной колонны и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Построить фазовую диаграмму и диаграмму равновесия для ректификации заданной смеси в количестве G_F . Содержание легколетучего компонента в исходной смеси x_f , в дистилляте x_d , в кубовом остатке x_w . Рассчитать скорость пара в ректификационной колонне и определить ее диаметр.

Исходные данные:

Вариант	Равновесная система	G_F , т/ч	x_f , масс.%	x_d , масс.%	x_w , масс.%
1	метилловый спирт - вода	9,8	36	89	5
2	хлороформ - бензол	8,3	42	88	6
3	вода - уксусная кислота	8,7	49	95	4
4	ацетон - вода	11,4	37	93	5
5	бензол - толуол	8,8	35	97	1
6	этиленгликоль - вода	9,9	46	90	4
7	муравьиная кислота - вода	11,0	45	91	2
8	четырёххлористый углерод - этилацетат	10,4	43	98	4
9	1,2 - дихлорэтан - бензол	8,9	39	92	1
10	этиловый спирт - этилацетат	9,3	50	94	2

2. По результатам решения первой задачи определить гидравлическое сопротивление ректификационной колонны при заданном типе тарелок. Определить число теоретических ступеней изменения концентрации и число тарелок.

Исходные данные:

Вариант	Тип тарелок	Вариант	Тип тарелок
1	колпачковые типа ТСК-I	6	ситчатые типа ТС-P
2	колпачковые типа ТСК-P	7	ситчатые типа ТС-P2
3	колпачковые типа ТСК-РЦ	8	колпачковые типа ТС-РЦ
4	колпачковые типа ТСК-РБ	9	колпачковые типа ТС-РБ
5	ситчатые типа ТС	10	решетчатые типа ТС-P

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы ректификации;
2. Дефлегмация и ее влияние на параметры процесса;
3. Типы тарелок ректификационных колонн;

4. Определение параметров процесса по фазовым и равновесным диаграммам;
5. Гидравлическое сопротивление ректификационных колонн;
6. Конструкция тарельчатых ректификационных колонн.

Список литературы

1. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 215-240;
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>) – стр. 182-204;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 356-366.

Практическое занятие 3. Расчет и выбор распылительной экстракционной колонны

Цель практического занятия: изучить методику расчета диаметра экстракционной колонны и распределителя дисперсной фазы; изучить методику расчета высоты рабочей и отстойных зон.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершении беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику расчета диаметра экстракционной колонны и рас-

пределителя дисперсной фазы. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету диаметра экстракционной колонны и распределителя дисперсной фазы. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики расчета диаметра экстракционной колонны и распределителя дисперсной фазы и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику расчета высоты рабочей и отстойных зон. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету высоты рабочей и отстойных зон. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. По завершении каждый студент делает эскиз получившейся распылительной экстракционной колонны с соблюдением пропорций получившихся размеров.

На объяснение методики расчета высоты рабочей и отстойных зон и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также

эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Рассчитать число теоретических ступеней и диаметр колонны для экстракции заданного компонента из заданного растворителя заданным экстрагентом. Расход исходной смеси составляет V_x , экстрагента V_y . Начальная концентрация извлекаемого компонента в исходной смеси $c_{x.н}$, конечная – $c_{x.к}$. Принять содержание экстрагента на входе в колонну равным 0,01 масс.%. Взаимной растворимостью экстрагента и растворителя пренебречь. Температура экстракции t , диаметр отверстий распределителя d_0 .

Исходные данные:

Вариант	извлекаемый компонент	растворитель	экстрагент
1	ацетон	вода	толуол
2	борная кислота	глицерин	амиловый спирт
3	азотная кислота	вода	диэтиловый эфир
4	бром	вода	четырёххлористый углерод
5	иод	глицерин	хлороформ
6	фенол	вода	бензол
7	формальдегид	вода	хлороформ
8	иод	глицерин	диэтиловый эфир

Вариант	извлекаемый компонент	растворитель	экстрагент
9	аммиак	вода	амиловый спирт
10	иод	вода	нитробензол

Вариант	V_x , кг/с	V_y , кг/с	$c_{x,n}$, масс. %	$c_{x,k}$, масс. %	t , °C	d_0 , мм
1	12,5	4,0	1,9	0,10	23	4
2	13,9	4,1	1,6	0,08	18	5
3	19,3	4,5	1,8	0,09	21	3
4	19,4	4,6	2,0	0,10	28	5
5	12,9	4,0	0,8	0,04	25	4
6	11,6	3,9	0,9	0,05	27	3
7	18,8	4,5	1,0	0,05	19	5
8	16,0	4,4	1,3	0,065	22	3
9	10,0	3,8	1,2	0,06	20	4
10	18,3	4,5	1,7	0,09	24	3

2. По результатам решения первой задачи рассчитать высоту рабочей зоны и высоту отстойных зон при параметрах линейной аппроксимации равновесной кривой m и m_0 . Коэффициент массопередачи по фазе экстрагента K_y , фиктивная скорость капель экстрагента w_y , фиктивная скорость растворителя w_x , удельная поверхность контакта фаз a , время коалесценции капель экстрагента $\tau_{\text{коал}}$.

Исходные данные:

Вариант	m	m_0	$K_y \cdot 10^{-4}$, м/с	w_y , м/с	w_x , м/с	a , м ² /м ³	$\tau_{\text{коал}}$, с
1	2,43	0,43	0,382	1,33	0,009	129	76
2	2,47	0,00	0,399	1,00	0,012	146	96
3	1,83	0,01	0,379	1,47	0,011	129	67
4	1,95	0,15	0,449	1,39	0,007	125	105
5	1,54	0,59	0,465	1,18	0,010	154	91
6	2,32	0,86	0,381	1,40	0,004	101	81
7	2,40	0,54	0,356	1,10	0,006	124	106
8	2,16	0,80	0,461	1,45	0,005	151	105
9	1,50	0,24	0,499	1,26	0,008	133	76
10	2,29	0,95	0,473	1,23	0,009	124	107

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы жидкостной экстракции;
2. Промышленные экстрагенты;
3. Число теоретических ступеней изменения концентрации и расход экстрагента;
4. Влияние размера капель на жидкостную экстракцию;
5. Режимы проведения экстракции;
6. Конструкция распылительной экстракционной колонны.

Список литературы

1. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 326-348;
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>) – стр. 332-356;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 459-472.

Практическое занятие 4. Расчет рекуперационной адсорбционной установки с неподвижным слоем адсорбента

Цель практического занятия: изучить методику определения высоты неподвижного слоя адсорбента; изучить методику определения диаметра и высоты адсорбера.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить

примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику определения высоты неподвижного слоя адсорбента. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по определению высоты неподвижного слоя адсорбента. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики определения высоты неподвижного слоя адсорбента и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику определения диаметра и высоты адсорбера. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по определению диаметра и высоты адсорбера. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. По завершении каждый студент делает эскиз получившегося адсорбера периодического действия с неподвижным слоем адсорбента с соблюдением пропорций получившихся размеров.

На объяснение методики определения диаметра и высоты адсорбера и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при

которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Определить толщину слоя активного угля для извлечения метана из водорода при давлении P и температуре t , если начальная концентрация метана $y_{нач}$, фиктивная скорость газа $w_{ф}$, продолжительность адсорбции τ , концентрация проскока $x_{кон}$.

Исходные данные:

Вариант	P , МПа	t , °С	$y_{нач}$, $\cdot 10^{-3}$ кг/м ³	$w_{ф}$, м/с	τ , с	$x_{кон}$, кг/кг
1	0,9	23	0,0866	7,2	1819	0,6
2	1,0	24	0,1001	8,4	1606	0,55
3	1,3	26	0,1170	9,1	1458	0,85
4	1,4	19	0,1045	1,2	1665	1
5	0,8	22	0,938	1,1	1753	0,8
6	1,2	21	0,1190	1,0	1781	0,65
7	1,1	28	0,0912	7,6	1726	0,75
8	1,0	18	0,1024	9,5	1689	0,95
9	0,8	27	0,1171	8,7	1492	0,7

Вариант	P, МПа	t, °C	$u_{нач}, \cdot 10^{-3}$ кг/м ³	$w_{ф},$ м/с	$\tau,$ с	$X_{кон},$ кг/кг
10	1,2	20	0,1020	9,7	1546	0,9

2. По результатам расчета первой задачи определить диаметр и высоту адсорбера при эквивалентном диаметре частиц адсорбента d_3 , насыпной плотности адсорбента $\rho_{нас}$.

Исходные данные:

Вариант	$d_3 \cdot 10^{-3},$ мм	$\rho_{нас},$ кг/м ³	Вариант	$d_3 \cdot 10^{-3},$ мм	$\rho_{нас},$ кг/м ³
1	2,2	511	6	1,7	471
2	2,4	570	7	2,5	550
3	2,9	485	8	2,7	541
4	3,0	480	9	1,3	481
5	1,8	557	10	2,8	535

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы адсорбции;
2. Промышленные адсорбенты;
3. Регенерация адсорбентов;
4. Кинетика адсорбции;
5. Классификация адсорберов;
6. Конструкция адсорбера с неподвижным слоем адсорбента.

Список литературы

1. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учебное пособие - Казань: издательство КНИТУ, 2012. - 96 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>) – стр. 32-64.
2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 255-261;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 400-423.

Практическое занятие 5. Расчет катионообменной колонны

Цель практического занятия: изучить методику расчета размеров односекционной катионообменной колонны; изучить методику расчета размеров многосекционной катионообменной колонны.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику расчета размеров односекционной катионообменной колонны. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету размеров односекционной катионообменной колонны. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики расчета размеров односекционной катионообменной колонны и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику расчета размеров многосекционной катионообменной колонны. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При

этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету размеров многосекционной катионообменной колонны. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики расчета размеров многосекционной катионообменной колонны и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Рассчитать диаметр катионообменной колонны для удаления ионов натрия из раствора хлорида калия заданным ионитом, если производительность по исходному раствору V ,

исходная концентрация раствора c_n , концентрация очищенного раствора c_k , константа равновесия в системе катионит – раствор K_p , температура в аппарате t , порозность неподвижного слоя ε_n . Регенерация ионита проводится 1 н раствором HCl.

Исходные данные:

Вариант	Марка ионита	V, м ³ /ч	c_n , моль-экв/м ³	c_k , моль-экв/м ³	K_p	t, °C	ε_n
1	КУ-2	14,3	5,2	0,26	1,5	24	0,34
2	КУ-1	10,4	4,3	0,22	1,2	19	0,48
3	АВ-17-8	8,6	4,7	0,24	1,4	28	0,37
4	ЭДЭ-10П	11,2	3,6	0,18	1,5	26	0,43
5	АН-1	8,4	5,7	0,29	0,9	28	0,41
6	КУ-2	12,0	3,8	0,19	1,5	27	0,40
7	КУ-1	11,6	5,8	0,29	1,3	21	0,44
8	АВ-17-8	9,7	4,2	0,21	0,9	20	0,39
9	ЭДЭ-10П	7,9	5,0	0,25	1,2	25	0,33
10	АН-1	12,8	5,5	0,28	1,0	23	0,38

2. По результатам решения первой задачи определить высоту псевдоожиженного слоя ионита и высоту аппарата при равновесной концентрации ионов натрия в ионите $X^*(C_k)$ и минимальном размере частиц ионита $d_{\text{мин}}$.

Исходные данные:

Вариант	$X^*(C_k)$, кг/кг	$d_{\text{мин}}$, мм	Вариант	$X^*(C_k)$, кг/кг	$d_{\text{мин}}$, мм
1	0,0061	0,3	6	0,0069	0,3
2	0,0077	0,3	7	0,0073	0,3
3	0,0051	0,4	8	0,0054	0,4
4	0,0085	0,4	9	0,0072	0,4
5	0,0052	0,3	10	0,0066	0,3

3. Рассчитать высоту многосекционной катионообменной колонны при таких же диаметре и условиях как для односекционной и при константах уравнения сорбции a и b .

Исходные данные:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	1,28	1,14	1,00	1,36	1,19	1,44	1,18	1,43	1,07	1,49
b	2,10	1,99	1,65	1,71	2,23	1,80	1,77	2,38	2,01	2,02

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы ионного обмена;
2. Промышленные иониты;
3. Равновесие и кинетика ионного обмена;
4. Изотермы ионного обмена;
5. Регенерация ионитов;
6. Конструкция ионообменных колонн.

Список литературы

1. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учебное пособие - Казань: издательство КНИТУ, 2012. - 96 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>) – стр. 52-63;
2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 282 - 296;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 489-504.

Практическое занятие 6. Расчет и выбор барабанной сушилки

Цель практического занятия: изучение методики расчета основных размеров сушильного барабана; изучение методики проверочного расчета выбранной сушилки.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику расчета основных размеров сушильного барабана. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету основных размеров сушильного барабана. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики расчета основных размеров сушильного барабана и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику проверочного расчета выбранной сушилки. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по проверочному расчету выбранной сушилки. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. При этом каждый студент должен изобразить схему получившейся барабанной сушилки с соблюдением пропорциональности размеров.

На объяснение методики проверочного расчета выбранной сушилки и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также

эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Рассчитать основные размеры сушильного барабана для сушки заданного материала производительностью по высушенному материалу G_k . Температура сушильного агента на входе в материал t_1 , на выходе t_2 . Начальное влагосодержание высушиваемого материала x_1 , конечное – x_2 . Температура мокрого термометра на входе в сушилку Θ_1 , на выходе – Θ_2 .

Исходные данные:

Вариант	Материал	G_k , т/ч	t_1 , °C	t_2 , °C	x_1 , кг/кг	x_2 , кг/кг	Θ_1 , °C	Θ_2 , °C
1	песок	18,5	260	105	0,0247	0,123	55,7	58,3
2	глина	20,9	385	110	0,0240	0,129	52,2	59,6
3	мел	24,9	430	95	0,0207	0,130	55,5	58,7
4	доломит	16,6	300	110	0,0183	0,107	57,0	58,5
5	шлак	23,2	420	100	0,0277	0,115	54,5	59,4
6	песок	15,0	290	110	0,0244	0,116	46,9	58,6
7	глина	23,1	350	100	0,0287	0,127	54,7	58,8
8	мел	21,3	390	95	0,0213	0,102	54,3	58,1
9	доломит	17,5	285	120	0,0233	0,090	53,2	59,2

Вариант	Материал	G_k , т/ч	t_1 , °C	t_2 , °C	x_1 , кг/кг	x_2 , кг/кг	Θ_1 , °C	Θ_2 , °C
10	шлак	17,2	280	115	0,0159	0,082	53,8	59,9

2. Провести проверочный расчет результатов решения первой задачи при наименьшем диаметре частиц высушиваемого материала $d_{\text{мин}}$ и плотности частиц высушиваемого материала ρ_m .

Исходные данные:

Вариант	$d_{\text{мин}}$, мм	ρ_m , кг/м ³	Вариант	$d_{\text{мин}}$, мм	ρ_m , кг/м ³
1	2,0	1500	6	1,6	1500
2	2,4	1900	7	1,4	1900
3	1,2	2200	8	2,1	2200
4	1,0	2200	9	2,2	2200
5	1,7	2200	10	2,5	2200

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы сушки;
2. Виды сушки;
3. Формы связи влаги с материалом;
4. Основные размеры сушильного барабана;
5. Классификация сушилок;
6. Конструкция барабанных сушилок.

Список литературы

1. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учебное пособие - Казань: издательство КНИТУ, 2012. - 96 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>) – стр. 68-74;
2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 380-404;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 540-575.

Практическое занятие 7. Расчет и выбор сушилки со взвешенным слоем

Цель практического занятия: изучить методику расчета расхода воздуха, скорости газов и диаметра сушилки с псевдооживленным слоем; изучить методику расчета высоты псевдооживленного слоя.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику расчета расхода воздуха, скорости газов и диаметра сушилки с псевдооживленным слоем. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету расхода воздуха, скорости газов и диаметра сушилки с псевдооживленным слоем. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой.

На объяснение методики расчета расхода воздуха, скорости газов и диаметра сушилки с псевдооживленным слоем и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику расчета высоты псевдооживленного слоя. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию

или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он решает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету высоты псевдооживленного слоя. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. При этом каждый студент должен изобразить схему получившейся сушилки с псевдооживленным слоем с соблюдением пропорциональности размеров.

На объяснение методики расчета высоты псевдооживленного слоя и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Рассчитать расход воздуха, скорость газов и диаметр сушилки для сушки песка с заданным гранулометрическим составом при производительности по высушиваемому материалу G_k . Начальная влажность песка $w_{нач}$, конечная влажность $w_{кон}$. Температура влажного материала Θ_1 , температура свежего воздуха t_0 , влажность φ , давление в сушилке атмосферное, температура воздуха после калорифера t_1 , удельные потери тепла в окружающую среду q_p .

Исходные данные:

Вариант	G_k , т/ч	$w_{нач}$, масс. %	$w_{кон}$, масс. %	Θ_1 , °C	t_0 , °C	φ , %	t_1 , °C	q_p , кДж/кг
1	3,0	13	0,7	18	23	72	145	18,2
2	2,6	12	1,2	24	22	70	127	19,7
3	1,6	8	1,4	25	27	69	133	23,6
4	1,8	15	1,8	19	25	71	121	22,5
5	2,5	18	1,0	26	24	71	130	18,5
6	1,9	17	1,1	21	28	72	128	19,0
7	2,8	16	0,9	22	18	70	123	20,8
8	2,0	10	1,9	27	21	75	139	21,8
9	1,7	11	0,6	23	20	72	129	23,3
10	2,2	9	1,5	20	19	70	143	18,4

Гранулометрический состав песка:

Вариант	фракция 1		фракция 2	
	размер частиц, мм	содержание, %	размер частиц, мм	содержание, %
1	2,0 – 1,5	50	1,5 – 1,0	50
2	2,2 – 1,6	60	1,6 – 1,0	40
3	1,8 – 1,2	70	1,2 – 0,6	30
4	2,0 – 1,2	55	1,2 – 0,8	45
5	2,2 – 1,8	65	1,8 – 1,2	35
6	2,0 – 1,5	75	1,5 – 1,0	25
7	2,2 – 1,6	45	1,6 – 0,9	55
8	1,8 – 1,2	50	1,2 – 0,8	50
9	2,0 – 1,2	55	1,2 – 1,0	45
10	2,2 – 1,8	60	1,8 – 0,9	40

2. По результатам решения первой задачи рассчитать высоту псевдооживленного слоя и параметры газораспределительной решетки при равновесном содержании влаги в песке x^* , доля живого сечения решетки F_c .

Исходные данные:

Вариант	x^* , кг/кг	F_c	Вариант	x^* , кг/кг	F_c
1	0,0374	0,04	6	0,0357	0,04
2	0,0367	0,05	7	0,0386	0,06
3	0,0475	0,04	8	0,0381	0,04
4	0,0364	0,06	9	0,0430	0,05
5	0,0355	0,07	10	0,0353	0,06

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы сушки;
2. Виды сушки;
3. Формы связи влаги с материалом;
4. Псевдооживленное состояние зернистых материалов;
5. Классификация сушилок;
6. Конструкция сушилок с псевдооживленным слоем.

Список литературы

1. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учебное пособие - Казань: издательство КНИТУ, 2012. - 96 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>) – стр. 75-86;
2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 380-404;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 540-575.

Практическое занятие 8. Расчет и выбор установок для мембранного разделения

Цель практического занятия: изучить методику расчета основных параметров установки обратного осмоса; изучить методику расчета основных параметров установки мембранного разделения газов.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику расчета основных параметров установки обратного осмоса. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету основных параметров установки обратного осмоса. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. При этом каждый студент должен изобразить схему получившейся установки с соблюдением пропорциональности размеров.

На объяснение методики расчета основных параметров установки обратного осмоса и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику расчета основных параметров установки мембранного разделения газов. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету основных параметров установки мембранного разделения газов. В случае возникновения у одного или

нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. При этом каждый студент должен изобразить схему получившейся установки с соблюдением пропорциональности размеров.

На объяснение методики расчета основных параметров установки мембранного разделения газов и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Рассчитать основные параметры установки для концентрирования водного раствора CaCl_2 в количестве L от концентрации c_n до концентрации c_k через заданную мембрану. Температура разделения t , давление разделения P . Потери соли с пермеатом не должны превышать 10 % от ее количества в исходном растворе.

Исходные данные:

Вариант	L, кг/с	мембрана	c _н , масс. %	c _к , масс. %	t, °C	P, МПа
1	7,5	МГА-100	1,7	36,7	25,0	5,5
2	6,0	МГА-80	1,1	33,9	21,0	5,3
3	4,0	МГА-95	0,7	34,9	23,0	5,9
4	5,0	МГА-90	1,4	30,8	22,2	5,7
5	6,6	МГА-100	1,0	33,8	23,7	5,1
6	4,9	МГА-80	0,6	29,6	24,3	5,4
7	6,2	МГА-95	1,5	33,7	20,6	6,0
8	4,6	МГА-90	1,6	30,5	24,7	5,0
9	9,0	МГА-95	1,8	30,6	22,5	5,8
10	8,5	МГА-80	0,9	30,4	20,8	5,2

2. Рассчитать основные параметры установки для обогащения воздуха кислородом до содержания c_к. Производительность по обогащенному воздуху при нормальных условиях L. Принять состав воздуха равным 21 % кислорода и 79 % азота.

Исходные данные:

Вариант	Мембрана		L, м ³ /ч	p'', кПа	t, °C	x, %
	материал	толщина, мкм				
1	полидиметилсилоксан	10	30	81	18	42
2	полисилоксанарилат	2	32	22	26	40
3	полисилоксанкарбонат	0,1	31	57	28	43
4	ПВТМС	0,2	39	32	23	39
5	полифениленоксид	0,005	38	60	25	36
6	полидиметилсилоксан	10	35	74	21	41
7	полисилоксанарилат	2	40	52	19	45
8	полисилоксанкарбонат	0,1	41	41	20	37
9	ПВТМС	0,2	42	63	27	44
10	полифениленоксид	0,005	45	79	22	35

Вопросы для обсуждения

1. Общие принципы мембранного разделения;
2. Классификация мембранных процессов;
3. Классификация мембран;
4. Движущая сила мембранных процессов;
5. Селективность мембран;

6. Конструкция мембранных модулей.

Список литературы

1. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 405-428;
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>) – стр. 386-412;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 582-597.

Практическое занятие 9. Расчет и выбор вспомогательного оборудования для проведения массообменных процессов

Цель практического занятия: изучение методики расчета и выбора насосов; изучение методики расчета и выбора компрессоров.

План проведения занятия

Практическое занятие проводится в несколько этапов. В начале занятия проводится беседа со студентами для оценки общего уровня знаний студентов по тематике занятия и выявления вопросов, которые большинству или всем неизвестны.

Затем преподаватель консультирует студентов по вопросам, которые вызвали у них трудности и по возможности сам приводит или просит привести студентов практические примеры для лучшего усвоения тематических основ.

После проведения консультации преподаватель дает студентам возможность задать ему возникшие у них вопросы по тематике занятия. При ответах желательно также приводить примеры и по возможности давать ответить другим студентам, знающим ответ для создания активного диалога с ними.

По завершению беседы, на которую в общей сложности отводится 20 – 25 минут, преподаватель объясняет студентам методику расчета и выбора насосов. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной

группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету и выбору насосов. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. При этом каждый студент должен изобразить схему получившегося насоса с соблюдением пропорциональности размеров.

На объяснение методики расчета и выбора насосов и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

По завершении преподаватель объясняет студентам методику расчета и выбора компрессоров. Во время объяснения и по его завершении студенты могут задавать преподавателю вопросы. Затем преподаватель вызывает к доске одного из студентов по его желанию или по своему выбору. Этому студенту выдается задача в качестве примера, которую он прорешивает у доски с участием остальной группы и преподавателя. При этом студенты получают начальный навык расчета по этой методике и в форме общегруппового диалога с преподавателем решают возникающие трудности.

После этого каждому студенту выдается индивидуальное задание по расчету и выбору компрессоров. В случае возникновения у одного или нескольких студентов трудностей, они решаются совместно с преподавателем и остальной группой. При этом каждый студент должен изобразить схему получившегося компрессора с соблюдением пропорциональности размеров.

На объяснение методики расчета и выбора компрессоров и решение задач отводится примерно 25 – 30 минут.

Используемые технологии преподавания

При проведении данного практического занятия используются следующие технологии образования:

1. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходимы для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии реализуются за счет того, что задачи связаны с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на практическом занятии, и предполагает проведение открытых

индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

3. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий и проверке решения задач.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятия.

Примерные варианты заданий

1. Рассчитать и выбрать насос для перекачивания воды в количестве L . Температура жидкости составляет t . Длина линии нагнетания равна l_1 , длина линии всасывания равна l_2 . Геометрическая высота подъема $h_{\text{геом}}$. На каждой линии установлено по одному регулировочному и одну запорному вентилю. Количество поворотов на линиях равно n_1 и n_2 . Жидкость подается в аппарат с гидравлическим сопротивлением ΔP .

Исходные данные:

Вариант	L , кг/с	t , °C	l_1 , м	l_2 , м	$h_{\text{геом}}$, м	n_1 , шт	n_2 , шт	ΔP , Па
1	15	23	2	20	9	3	4	886
2	13	53	5	17	30	2	6	466
3	17	18	7	15	20	1	3	435
4	18	34	8	11	29	3	3	726
5	16	25	12	12	26	2	6	732
6	10	67	10	16	15	2	5	524
7	14	56	11	10	7	3	3	627
8	9	47	3	22	17	1	5	420
9	11	28	6	27	11	2	6	800
10	12	59	9	31	28	2	3	500

2. Рассчитать и выбрать компрессор для сжатия и транспортирования воздуха в количестве Q . Температура воздуха составляет t . Длина линии нагнетания равна l_1 , длина линии всасывания равна l_2 . Давление воздуха на входе в компрессор атмосферное, степень сжатия s .

На каждой линии установлено по одному регулировочному и одну запорному вентилю. Количество поворотов на линиях равно n_1 и n_2 . Воздух подается в аппарат с гидравлическим сопротивлением ΔP .

Исходные данные:

Вариант	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	ϵ	$n_1, \text{ шт}$	$n_2, \text{ шт}$	$\Delta P, \text{ Па}$
1	1,6	20	4	14	3,1	3	3	390
2	3,3	36	7	17	2,0	2	2	366
3	3,4	26	11	12	1,7	4	3	338
4	2,0	30	5	13	2,7	4	6	285
5	3,6	32	10	15	2,8	3	4	253
6	2,4	19	6	20	1,1	4	2	514
7	3,8	31	8	10	1,0	4	3	435
8	1,5	33	9	11	1,6	2	6	209
9	3,9	22	3	18	1,9	3	3	415
10	3,2	37	12	16	1,4	2	6	478

Вопросы для обсуждения

1. Общие транспортирования жидкости;
2. Общие принципы сжатия и транспортирования газов;
3. Гидравлическое сопротивление в трубопроводных системах;
4. Классификация оборудования для транспортирования жидкостей и газов;
5. Конструкция насосов;
6. Конструкция компрессоров.

Список литературы

1. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие – М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200452.html>) - стр. 126-140;
2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>) – стр. 120-136;
3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>) – стр. 210-245.