

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 газочапельных 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 псевдооживленного 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 а 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 , °С | t_0 , °С | φ , % | t_1 , °С | 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_n , масс. % | c_k , 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_k . 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. 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 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 , °С | 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 с.

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.