**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**Бугульминский филиал**

**Казанского национального исследовательского технологического университета**

**И.А. Мутугуллина**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

**по дисциплине**

**«МАШИНЫ И АППАРАТЫ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ»**

**для студентов направления подготовки 15.03.02**

**Бугульма, 2021**

Каждое контрольное задание оформляется отдельно в тетради или на листах формата А4 в виде расчетно-пояснительной записки с титульным листом (обложкой), приведенным на сайте филиала Вариант контрольных заданий определяется по двум последним цифрам шифра (номера зачетной книжки). Если последние две цифры зачетной книжки больше 50, то вариант определяется суммой этих цифр. Определив свой вариант, студент по таблице устанавливает, какие вопросы и задачи ему следует выполнить в контрольном задании.

При ответах на контрольное задание студент техническим языком и в логической последовательности должен изложить основную суть вопроса и правильно оформить работу.

Все иллюстрации (схемы технологические, гидравлические, эски­зы, графики и т.д.) называются рисунками и в пределах контрольной работы нумеруются арабскими цифрами. Рисунки помещают сразу же после первого упоминания о них в тексте. Ссылки на иллюстрации в тексте осуществляются по типу: «рис. 3», а ссылки на ранее упомянутые иллюстрации даются в сокращении, например: «см. рис. 3». Иллюстрации должны иметь название (подрисуночный текст). Эскиз или схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивая четкое представление об объекте. Цифровой материал оформляется в виде таблиц по указанию ГОСТ 2.105-95.

В контрольной работе формулы нумеруют в пределах каждого раздела арабскими цифрами. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенной точкой. Номер ставят в круглых скобках с правой стороны формулы. Значения переменных величин приводят непосредственно под формулой в той последовательности, в какой они даны в формуле, например:

«Скорость движения охлаждающей воды в трубном пространстве W, м/с определяется по выражению [6, с. 102]:

W=Q/(ρ·s), (1.1)

где Q=0,542 кг/с - расход охлаждающей воды; ρ=998 кг/м3- плотность охлаждающей воды [4, с.152]; s=0,0142 м2 - расчетная площадь сечения трубного пространства.».

Размерности одних и тех же параметров в расчетах должны быть выдержаны в одной системе единиц. Единицы физических величин принимают по ГОСТ 8.417-81. Условные буквенные обозначения математических, физических, механических и других величин, а также условные графические обозначения должны соответствовать установленным стандартам. При первом упоминании той или иной величины в тексте дается ее разъяснение.

Порядок изложения расчетов определяется характером рассчи­тываемых величин. Расчеты должны содержать эскиз или схему рас­считываемого элемента с указанием потоков, тепловых и гидравличе­ских режимов, силовых нагрузок и т.п. и конструктивных размеров, сформулированную задачу расчета, принятые допущения и упроще­ния с их обоснованием, выбранную расчетную методику с указанием ссылки на литературный источник, сам расчет и выводы, полученные по его результатам

Расчеты, выполненные на ПЭВМ с предварительным составле­нием программы счета, оформляются в соответствии с общими требованиями. При этом излагается методика (алгоритм) расчета, приводятся исходные данные, а также таблица идентификаторов (обозначений) всех рассчитываемых величин. Распечатка программ приводится непосредственно на страницах работы, либо наклеивается на листы.

При многократном использовании одних и тех же методик и программ расчетов все пояснения к ним излагаются только в первом расчете, а в остальных случаях даются ссылки на соответствующие страницы контрольной работы.

Ссылки на литературу отмечаются записью в квадратных скобках, например «[8, с. 10]», где первое число указывает номер источника в списке использованной литературы, далее следует страница или интервал страниц, на которые дается ссылка.

К контрольной работе предъявляются следующие требования:

* задание должно быть выполнено полностью и аккуратно оформлено;
* все страницы расчетно-пояснительной записки должны быть пронумерованы и написаны ручкой синего или черного цвета;
* на каждой странице с правой стороны необходимо оставлять поля не менее 25-30 мм для замечаний рецензента;
* рисунки, схемы и эскизы выполняются с использованием чертежных принадлежностей четко и аккуратно;
* титульный лист задания выполняется по форме, приведенной на сайте филиал : на первой странице обязательно указывается шифр (номер зачетной книжки), вариант задания и его содержание, а в конце - список использованной литературы;
* контрольную работу необходимо подписать и указать дату ее выполнения;
* работы, оформленные с нарушением вышеуказанных требований, на рецензирование не принимаются.

Сроки выполнения контрольных работ устанавливаются учебным графиком. В случае отрицательной рецензии студент должен исправить все ошибки, дать исчерпывающие письменные ответы и направить работу на повторное рецензирование. Исправления отдельно от работы не рассматриваются.

При оформлении работ предпочтительнее использовать основные единицы СИ, а при решении задач необходимо изобразить схему устройства, обозначить на ней все размеры и величины, отметить стрелками направления движения потоков и разобраться в условиях работы. Подставить в расчетные уравнения числовые значения, проверить правильность подстановки и выполнить вычисления. Ответ желательно подвергнуть критике на предмет соответствия полученного результата практическим условиям работы или сопоставить результат с результатами аналогично решенных подобных задач.

Рекомендуется решать задачи в общем виде и исследовать результаты путем выяснения влияния различных факторов, входящих в условие задачи. Студент-заочник должен иметь навыки работы с основными справочниками, учебниками, учебными пособиями и методическими указаниями. Одной из главных задач контрольного задания является выработка навыков к ведению инженерно-технических расчетов с точностью ±5%. Применение инженерных калькуляторов является обязательным, а персональных компьютеров - желательным. При оформлении работы требуется отчетливое и грамотное (без орфографических ошибок) изложение, систематизированный ход вычислений и аккуратный разборчивый текст.

Оформление списка литературы (библиографии) производится по тре­бованию ГОСТ 7.1-84 как указано в разделе «Литература».

Студенты, применяющие в своей профессиональной деятельности компьютер и компьютерные технологии: текстовый редактор Word, табличный Excel или им подобные и графические редакторы AutoCAD или Компас могут представлять распечатанный вариант контрольного задания. В этом случае к нему прикладывается электронная копия, записанная на CD-диске. А при защите контрольного задания или исправлении допущенных ошибок студент демонстрирует свои знания и умения работы в соответствующих редакторах преподавателю за компьютером!

**Номера вопросов и задач к контрольному заданию**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ варианта** | **№ вопросов** | **№ задачи** |
| 1 | 2.1, 2.51 | 1 |
| 2 | 2.2,2.52 | 2 |
| 3 | 2.3, 2.53 | 3 |
| 4 | 2.4, 2.54 | 4 |
| 5 | 2.5, 2.55 | 5 |
| 6 | 2.6, 2.56 | 6 |
| 7 | 2.7, 2.57 | 7 |
| 8 | 2.8, 2.58 | 8 |
| 9 | 2.9, 2.59 | 9 |
| 10 | 2.10, 2.60 | 10 |
| 11 | 2.11, 2.61 | 11 |
| 12 | 2.12, 2.62 | 12 |
| 13 | 2.13, 2.63 | 13 |
| 14 | 2.14, 2.64 | 14 |
| 15 | 2.15, 2.65 | 15 |
| 16 | 2.16, 2.66 | 16 |
| 17 | 2.17, 2.67 | 17 |
| 18 | 2.18, 2.68 | 18 |
| 19 | 2.19, 2.69 | 19 |
| 20 | 2.20, 2.70 | 20 |
| 21 | 2.21, 2.71 | 21 |
| 22 | 2.22, 2.72 | 22 |
| 23 | 2.23, 2.73 | 23 |
| 24 | 2.24, 2.74 | 24 |
| 25 | 2.25, 2.75 | 25 |
| 26 | 2.26, 2.76 | 26 |
| 27 | 2.27, 2.77 | 27 |
| 28 | 2.28, 2.78 | 28 |
| 29 | 2.29, 2.79 | 29 |
| 30 | 2.30, 2.80 | 30 |
| 31 | 2.31, 2.81 | 31 |
| 32 | 2.32, 2.82 | 32 |
| 33 | 2.33, 2.83 | 33 |
| 34 | 2.34, 2.84 | 34 |
| 35 | 2.35, 2.85 | 35 |
| 36 | 2.36, 2.86 | 36 |
| 37 | 2.37, 2.87 | 37 |
| 38 | 2.38, 2.88 | 38 |
| 39 | 2.39, 2.89 | 39 |
| 40 | 2.40, 2.90 | 40 |
| 41 | 2.41, 2.91 | 41 |
| 42 | 2.42, 2.92 | 42 |
| 43 | 2.43, 2.93 | 4 |
| 44 | 2.44, 2.94 | 44 |
| 45 | 2.45, 2.95 | 45 |
| 46 | 2.46, 2.96 | 46 |
| 47 | 2.47,2.97 | 47 |
| 48 | 2.48, 2.98 | 48 |
| 49 | 2.49, 2.99 | 49 |
| 50 | 2.50, 2.100 | 50 |

**Вопросы к контрольному заданию**

**по разделу «Массообменные аппараты и сушилки»**

1. Сущность процессов ректификации и абсорбции. Основные гид­родинамические режимы тарельчатых колонн. Простые и сложные ректификационные колонны. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 4,5-0,63 НУ-01.
2. Технология процессов ректификации и абсорбции. Привести принципиальные схемы разновидностей ректификационного процес­са. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 1,2-10 НУ-01.
3. Классификация контактных устройств ректификационных и аб­сорбционных аппаратов и принцип их выбора для конкретных усло­вий эксплуатации. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ВН 2-5 НУ-01.
4. Понятие о парожидкостном равновесии (константы фазового рав­новесия, коэффициенты распределения, коэффициенты активности, относительная летучесть компонентов). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,2-4 ВК-02.
5. Тарельчатые колонны для процессов абсорбции и ректификации. Варианты ввода сырья и вывода продуктов из колонны. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 3-20 НУ 03.
6. Принцип расчета контактных устройств. Связь между отдельными характеристиками (гидравлическое сопротивление, межгарельчатое расстояние и т.д.). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ЭВ 3-02 РЦ 1,2-0,9 НК-21.
7. Основные этапы расчета массообменных аппаратов (технологиче­ский, гидравлический, конструкционный механический). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ПП 2-01 БВ 2,4-10 НК-01.
8. Основные параметры, применяемые для оценки контактных уст­ройств (производительность по жидкости, F - фактор пара, к.п.д., гид­равлическое сопротивление, диапазон устойчивой работы). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 16-2 НК-01.
9. Области применения насадочных массообменных аппаратов, их основные характеристики, преимущества и недостатки. Явление «сухого конуса» в насадочной колонне и методы его устра­нения. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,5-12 НУ-06.
10. Материальные и тепловые балансы ректификационных и аб­сорбционных колонн. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ПВ 2-01 РЦ 3,2-11 ВК-21.
11. Насадочные массообменные аппараты и их основные элементы: насадки (регулярные и нерегулярные), распределители и перераспределители жидкости. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,5-16 НУ-07.
12. Факторы, влияющие на выбор типа контактных устройств. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ЖТ 5-01 РЦ 12,5-1100 ВК-11.
13. Основные характеристики пленочных контактных устройств (производительность по газу (пару) и жидкости, скорость движения газа (пара) в различных сечениях аппарата и т.д.). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки J1C 2,0-8 НК-01.
14. Тарельчатые массообменные колонны. Барботажные контактные устройства, их сравнительные характеристики и рекомендации по вы­бору тарелок для проведения процессов массообмена. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ВН 1,5-2 ВК-02.
15. Принцип работы переливных и беспереливных ситчатых таре­лок. Гидродинамические режимы, их особенности и области примене­ния. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 2-12 НУ-03.
16. Струйные контактные устройства. Особенности, преимущества и недостатки прямоточного характера взаимодействия фазовых потоков в сравнении с противоточным и перекрестным потоками. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 0,8-1,6 ВК-01.
17. Пленочно-вихревые контактные устройства и способы их креп­ления к корпусу аппарата. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 16-2 НУ-01.
18. Провальные тарелки и их модификации, основные характеристи­ки и области применения. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ГТ 2-03 РЦ 6,5-200 ВК-21.
19. Тарелки с однонаправленными потоками жидкости и газа в зоне контакта, их сравнение и область применения. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БВ 2,2-6 НК-01. Преимущества и не­достатки данной конструкции.
20. Барботажно-пленочные контактные устройства и их основные характеристики. Выбор и проверка межгарельчатого расстояния, гид­равлическое сопротивление, градиент уровня жидкости. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки J1C 2,0-20 НК-20.
21. Струйно-барботажные контактные устройства и их основные характеристики: производительность по газу (пару) и жидкости, гра­диент уровня жидкости, унос жидкости (брызгоунос).
22. Колонны для процессов абсорбции и ректификации с регуляр­ными насадками. Выбор оптимального режима. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ-4.5-0.63 КУ-01.
23. Струйно-вихревые контактные устройства и их основные харак­теристики. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 0,5-0,32 ВК-01.
24. Колонны для процессов ректификации и абсорбции с нерегуляр­ными насадками. Выбор оптимального режима. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ВН 0,8-2 НУ-01.
25. Сущность процесса сушки и ее виды. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК-1.
26. Способы подвода тепла к высушиваемому материалу. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК-Р.
27. Формы связи влаги с материалом. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК-РЦ.
28. Материальный и тепловой балансы процесса сушки. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК-РБ.
29. Варианты процесса сушки. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС.
30. Скорость и периоды процесса сушки. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС-Р.
31. Классификация методов сушки и сушилок. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС-Р.
32. Способы подачи сушильного агента и влажного материала. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы массообменных аппаратов, снабженных переливными устройствами с аппаратами без переливных устройств.
33. Последовательность расчета сушильного аппарата. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях S-образной тарелки.
34. Конвективные аппараты для сушки с неподвижным или движу­щимся слоем материала. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС-Р2.
35. Конвективные аппараты для сушки с перемешиванием слоя ма­териала. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС-РЦ.
36. Конвективные аппараты для сушки со взвешенным слоем мате­риала. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС-РБ.
37. Аппараты для сушки материала в режиме пневмотранспорта. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС ЖК.
38. Кондуктивные аппараты для сушки материала. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТР.
39. Аэрофонтанные сушильные аппараты. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки TCH-II.
40. Комбинированные сушильные установки. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки TCH-III.
41. Распылительные сушильные аппараты. Виды распылительных устройств. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы нерегулярных насадок для колонных аппаратов.
42. Кондуктивный барабанный сушильный аппарат. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы регулярных насадок для колонных аппаратов.
43. Выбор типа сушильного аппарата. Представить сравнительные характеристики, основные параметры и эскизы тарелок ТСК-Р и ТС-Р.
44. Основные гидродинамические режимы тарельчатых колонн. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 2,8-14НУ-04.
45. Понятие о парожидкостном равновесии (константы фазового равновесия, относительная летучесть компонентов). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 4,5-0,63НК-01.
46. Основные этапы расчета массообменных аппаратов. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 2,2-12НК-03.
47. Основные характеристики пленочных контактных устройств. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЭВ 4-01РЦ1,0-1,2 НК-21.
48. Привести принципиальные схемы разновидностей ректификаци­онного процесса. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки J1C 2,0-6НК-20.
49. Основные параметры, применяемые для оценки контактных уст­ройств. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки BJ11,0-2,0НК-80.
50. Основные этапы механического расчета массообменных аппара­тов. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,6-ЮВТ.
51. Основные этапы гидравлического расчета массообменных аппа­ратов. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЭВ 3-01РЦ1,2-0,9НК-21.
52. Варианты ввода сырья и вывода продуктов из тарельчатой ко­лонны. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЭВ 4-01РЦ1,0-1,2НК-21.
53. Массообменные аппараты с регулярными насадками (их виды). Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ГТ2-03РЦ6,5-200ВК-24.
54. Массообменные аппараты с нерегулярными насадками (их ви­ды). Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ЖТ 5-01РЦ8-300ВК-11.
55. Распределители и перераспределители жидкости в насадочных массообменных аппаратах. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,2-4ВТ-01.
56. Факторы, влияющие на выбор типа контактных устройств. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,5-16НУ-06.
57. Принцип работы переливных и беспереливных ситчатых таре­лок. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 2-02РЦ6,5-200НК-23.
58. Струйные (прямоточные, противоточные и перекрестные) кон­тактные устройства. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,25-12НУ-01.
59. Выбор и проверка межтарельчатого расстояния, гидравлическое сопротивление, градиент уровня жидкости. Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки 11112-01БВ2,8-16НК-01.
60. Виды распылительных устройств в сушильных аппаратах. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях S-образной тарелки.
61. Основные характеристики пленочных контактных устройств. Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ПВ 2-01ЛС1,2-12ВК-01.
62. Барботажные контактные устройства тарельчатых массообмен­ных колонн. Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ПВ 2-01РЦЗ,2-11ВК-21.
63. Основные параметры, применяемые для оценки контактных уст­ройств (производительность по жидкости, F-фактор пара, к.п.д. и др.). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,6-ЮВК
64. Принцип выбора контактных устройств массообменных колонн. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БВ 2,2-6НК-01.
65. Привести принципиальные схемы ректификационного процесса. Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ГТ 4-02ЛС2,85-19НК- 02.
66. Основные гидравлические режимы тарельчатых колонн для про­цессов ректификации и абсорбции. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЛС 1,2-12НК-01.
67. Способы подвода тепла к высушиваемому материалу. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях S-образной тарелки.
68. Конвективные аппараты для сушки с движущимся слоем мате­риала. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы массообменных аппаратов, снабженных переливными устройствами с аппаратами без переливных устройств.
69. Классификация сушильных аппаратов. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы нерегулярных насадок для колонных аппаратов.
70. Последовательность расчета сушильного аппарата. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС ЖК.
71. Сущность процесса сушки и ее виды. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы тарелок ТСК-Р и ТС-Р.
72. Конвективные аппараты для сушки материала с неподвижным слоем. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки TCH-III.
73. Способы подачи сушильного агента и влажного материала. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки TCH-II.
74. Материальный и тепловой балансы процесса сушки. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы массообменных аппаратов, снабженных переливными устройствами с аппаратами без переливных устройств.
75. Классификация методов сушки и сушилок. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК-1.
76. Конвективные аппараты для сушки с перемешиванием слоя ма­териала. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТР.
77. Скорость и периоды процесса сушки. Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС-РЦ.
78. Области применения насадочных массообменных аппаратов, их основные характеристики, преимущества и недостатки. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного сечения сушилки БВ 2,2-6НК-01.
79. Основные характеристики пленочно-вихревых контактных уст­ройств и способы крепления к корпусу аппарата. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного сечения сушилки РВ 1,6-ЮВТ.
80. Барботажные контактные устройства и их основные характери­стики. Выбор и проверка межтарельчатого расстояния, гидравличе­ское сопротивление. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного сечения сушилки БН 3,5-27НУ-05.
81. Способы выражения состава фаз для процессов абсорбции и ректификации: объемная концентрация, мольные и массовые доли и т. п. Приведите соотношения между различными способами выражения составов газовой и жидкой фаз. Представить характеристики, основные параметры, принцип работ и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 4,5-0,63НУ-01.
82. Абсорбция газов. Сущность процессов, основные понятия: аб­сорбируемый компонент, инертный газ, поглотитель. Привести схему конструкции тарельчатой абсорбционной колонны с ситчатыми тарел­ками, принцип работы и основные элементы конструкции.
83. Равновесие между фазами при физической абсорбции. Идеаль­ные растворы. Равновесие в идеальных растворах ( уравнение Рауля). Закон Генри для разбавленных растворов при плохой растворимости газов. Привести схему конструкции насадочной колонны, оснащенной кольцами Рашига, принцип работы и основные элементы конструк­ции.
84. Области применения абсорбционных процессов в химической и других отраслях промышленности: получение готового продукта пу­тём поглощения газа жидкостью; разделение газовых смесей для вы­деления одного или нескольких ценных компонентов смеси; очистка газа от примесей вредных компонентов; улавливание ценных компо­нентов из газовой смеси. Приведите примеры и необходимость при­менения процессов последующей десорбции.
85. Классификация абсорбционных аппаратов (условная), отражаю­щая как конструкцию абсорбера, так и характер поверхности контак­та. Влияние физико-химических условий проведения процесса и тех­нико-экономических факторов. Представить характеристики, основные параметры, принцип работы и эскизы продольного разреза сушилки ВН-2-5НУ-01.
86. Равновесие в системе газ - жидкость при физической абсорбции. Константы фазового равновесия, физический смысл и способы выра­жения. Привести соотношения между константами фазового равнове­сия при различных способах выражения состава фаз. Влияние давле­ния, температуры и концентрации растворенного вещества (газа) в жидкости на константу фазового равновесия (коэффициент распреде­ления).
87. Уравнение материального баланса при абсорбции нелетучим по­глотителем. Схема материального баланса, рабочей линии и линии равновесия при противотоке и прямотоке. Влияние относительной на­грузки жидкости L=L/G (кг жидкости/ кг газа) на абсорбционный фактор λ = L /m, где m - константа фазового равновесия.
88. Тепловой баланс абсорбции. Выделение тепла при растворении газа в жидкости. Энтальпия газа и жидкости. Тепловая диаграмма рав­новесия. Поверхностные абсорберы, их устройство и виды: с горизонтальным зеркалом жидкости, плёночные, с восходящим движением пленки и насадочные. Привести схемы конструкций, принцип работы, преиму­щества и недостатки.
89. Массопередача и массоотдача в процессах физической абсорб­ции. Основные уравнения массопередачи: коэффициенты массопередачи, движущая сила массопередачи и поверхность контакта, влияние физико-химических условий на массоопередачу. Насадочные абсор­беры. Конструкция, принцип работы, виды насадочных элементов.
90. Коэффициенты массоотдачи для процесса физической абсорб­ции. Физический смысл коэффициентов массоотдачи, формы записи коэффициентов, единицы измерения. Влияние растворимости газов в жидкости на коэффициенты массоотдачи в газовой и жидкой фазах. Распределительные устройства насадочных абсорберов. Основные требования, предъявляемые к ним, их виды.
91. Коэффициенты массопередачи, отнесенные к концентрациям в газе 1/Ку=1/βу+m/βж и жидкости l/Kx=l/βx+l/(m·βy), где βхи βУ - коэф­фициенты массоотдачи для газовой и жидкой фаз, m- константа фазо­вого равновесия. Схема процесса массопередачи между газом и жид­костью. Общее сопротивление массопередачи и фазовые сопротивле­ния. Растворимость газов и фазовые сопротивления. Влияние раство­римости газов на фазовые сопротивления: хорошо (m<1), среднее (1<m<100) и плохо (m>100) растворимые газы. Примеры растворимо­сти газов в воде.
92. Средняя движущая сила процесса абсорбции. Схема графическо­го определения движущей силы на диаграмме у- х, где у и х - концен­трации распределяемого газа в газовой смеси и жидкости в мол. до­лях Модели структуры потоков в фазах: идеальное вытеснение или иде­альное перемешивание по обеим фазам; вытеснение по одной фазе, перемешивание по другой, реальная модель.
93. Число единиц переноса в газовой и жидкой фазах. Физический смысл, формы записи. Единицы переноса. Методы определения числа единиц переноса: метод графического интегрирования, методы чис­ленного интегрирования, аналитический метод. Представить характеристики, основные параметры, принцип работы и эскизы продольного разреза сушилки БН 1,2-10НУ-01.
94. Массопередача при перекрестном токе в барботажных абсорбе­рах тарельчатого типа. Схема абсорбции с перекрестным током. Сред­няя движущая сила, число единиц переноса. Представить характеристики, основные параметры, принцип работы, эскиз сушильной установки ПП2-01БВ2,4-10НК-01.
95. Влияние различных факторов на коэффициенты массоотдачи и массопередачи процесса абсорбции газа: физических свойств, вязко­сти, коэффициентов диффузии и давления газа и жидкости. Расчёт абсорбционных процессов: эффективность работы абсорберов (коэффициенты извлечения, насыщения; коэффициенты полезного действия, эффективность по жидкости).
96. Расчёт абсорберов с непрерывным контактом для противотока и прямотока и с рециркуляцией жидкости и газа: эффективность и число единиц переноса. Поверхностные абсорберы: с горизонтальным зеркалом жидкости, плёночные, насадочные (с неподвижной насадкой) и механические пленочные. Область применения, схемы конструкций, принцип рабо­ты, преимущества и недостатки.
97. Гидродинамические закономерности поверхностных абсорберов: однофазное течение жидкости, движение газа и двухфазное движение газа и жидкости; движение газа через насадку; двухфазное движение газа и жидкости через насадку (плёночный режим, режим подвисания, барботажный режим или режим захлёбывания). Привести схему насадочной колонны, область применения, режимные и конструктивные параметры абсорбера и принцип работы.
98. Гидравлическое сопротивление плёночных и насадочных аппа­ратов, методы их расчёта для рабочего диапазона нагрузок по газу и жидкости. Количество удерживаемой жидкости, влияние подвисания и захлёбы­вания на удерживающую способность аппарата. Распределение жидкости в плёночных абсорберах. Привести схему плёночного абсорбера, показать конструктивные осо­бенности, принцип работы, преимущества и недостатки.
99. Брызгоунос в пленочных и насадочных абсорберах. Влияние брызгоуноса на эффективность массопередачи и гидравлическое со­противление. Смоченная и активная поверхности, влияние смоченной и активной поверхности от различных факторов. Барботажные абсорберы, область применения и их типы. Привести схему тарельчатого абсорбера со ступенчатым контактом между фазами, принцип работы, режимные и конструктивные параметры.
100. Абсорберы со сплошным барботажным слоем, секционированная барботажная колонна, барботажный абсорбер с насадкой (эмульгационная колонна). Конструкции, область применения, преимущества и недостатки. Принцип работы. Их отличие от абсорберов тарельчатого типа. Кинетические параметры процесса абсорбции: эффективность работы абсорберов (коэффициент извлечения φ, коэффициент насыщения ψ).

**Задачи к контрольному заданию**

**по разделу «Массообменные аппараты и сушилки»**

1. Рассчитать противоточный абсорбер насадочного типа для по­глощения водой диоксида углерода из смеси его с водородом и азотом.

Исходные данные: состав поступающей смеси: Н2 - 62%; С02 - 18%; N2 - 20%; расход газа на входе в абсорбер 1000 кмоль/час; давление процесса 2,0 МПа; на орошение подается вода с температурой 20°С; требуемая степень извлечения диоксида углерода 90%.

1. Выполнить проектный расчет ректификационной колонны непре­рывного действия с клапанными тарелками для получения 100 000 тонн этилена в год. Колонна работает при давлении 1,2 МПа. Требуе­мое содержание этилена в дистилляте 98% (масс.), содержание этиле­на в кубовом остатке 4% (масс.). Состав исходной смеси: 57% этилена и 43% этана (масс.). Исходная смесь поступает в колонну при темпе­ратуре кипения.
2. Подобрать типовую барабанную сушилку по следующим исход­ным данным: производительность по готовому продукту 1500кг/ч; начальное влагосодержание материала w1 = 0,1 кг/кг, конечное w2 = 0,01 кг/кг, критическое влагосодержание материала wK = 0,05 кг/кг, коэффициент теплоемкости сухого материала см = 1000 Дж/(кг-К), на­сыпная плотность материала рн = 1500 кг/м3, температура материала на входе в сушилку= 15°С, температура воздуха на входе в сушил­ку t1 = 130°С, температура воздуха на выходе t2 = 60°С, средний раз­мер частиц материала dч = 2мм, барометрическое давление 105 Па.

Принимаем температуру окружающего воздуха 15°С с относительной влажностью 75%.

1. Рассчитать однокамерную сушилку с кипящим слоем при сле­дующих исходных данных: производительность по высушенному ма­териалу 450 кг/ч; начальное влагосодержание материала w1 = 0,68 кг/кг; конечное влагосодержание продукта w2 = 0,029 кг/кг; коэффи­циент теплоемкости продукта см = 1,4 кДж/(кг⋅К); плотность высу­шенного продукта рч = 3000 кг/м3; начальная температура материала  = 18°С; конечная температура продукта  = 60°С; атмосферное давление равно 100 кПа; начальная температура воздуха перед кало­рифером t1 = 18°С, после калорифера t2 = 130°С; влажность воздуха 75%; средний диаметр частиц dч = 1,5мм.
2. Рассчитать диаметр и высоту пневматической трубной сушилки. Исходные данные: производительность по исходному влажному ма­териалу 700 кг/ч; начальное влагосодержание исходного материала w1 = 0,1 кг/кг; конечное влагосодержание w2 = 0,01кг/кг; температура воздуха на входе в сушилку t1 = 300°С, на выходе t2 = 100°С; темпера­тура материала на входе в сушилку  = 15°С; эквивалентный размер частиц dэ = 0,9мм, максимальный размер частиц dM = 1,2 мм; фактор формы частиц материала ψ = 0,7; коэффициент теплоемкости мате­риала см=1200 Дж/(кг⋅К), плотность материала ρ=1940 кг/м3.
3. Рассчитать диаметр и высоту рабочей зоны распылительной су­шилки для сушки синтетического моющего средства (СМС).

Исходные данные: производительность по исходному влажному про­дукту 15000 кг/ч; начальная влажность порошка w1 = 50% (масс.); ко­нечная влажность порошка w2 = 5% (масс.); температура газов на вхо­де в сушильную башню t1 = 330°С; температура газов на выходе из сушилки t2 = 80°С; температура поступающей композиции  = 70°С; плотность высушенного продукта ρм = 1200 кг/м3, коэффициент теп­лоемкости порошка см = 2,22 кДж/(кг⋅К). Движение газов и высуши­ваемой композиции противоточное. В качестве топлива используется природный газ, его состав (в % масс, на сухой газ): С02 = 0,5; СН4 = 88; С2Н2 = 2,11; С3Н8 = 1,8; С4Н10 = 1,35; С5Н12 = 0,84; N2 = 5,4.

1. Рассчитать диаметр и высоту противоточной абсорбционной колонны с регулярной насадкой для поглощения двуокиси углерода водой.

Исходные данные: содержание двуокиси углерода (С02) в газовой смеси - 20% (мольн.); расход газовоздушной смеси на входе в абсор­бер 1200 кмоль/час; давление процесса 1,5 МПа; температуры газа в аппарате и воды на входе составляют 20°С; требуемая степень извле­чения двуокиси углерода 85%.

1. Определить гидравлическое сопротивление абсорбционной колонны с регулярной (кольца Рашига в укладку) на­садкой при рабочей высоте абсорбера 15м, скорости газа 0,5 м/с; диа­метр аппарата 2,5 м; объемный расход жидкости составляет 40 м3/час.
2. Определить гидравлическое сопротивление абсорбционной ко­лонны с регулярной насадкой (выбрать самостоятельно) при рабочей высоте абсорбера, равной 25 м, скорости движения газа 0,75 м/с; диа­метр аппарата составляет 3,0 м; а объемный расход жидкости - 60 м3/час.
3. Рассчитать диаметр, высоту, гидравлическое сопротивление про­тивоточной абсорбционной колонны с насыпной насадкой Палля 50x50x5 мм для поглощения сероводорода (H2S) водой.

Исходные данные: расход газовоздушной смеси 1500 м3/час; началь­ные концентрации распределяемого компонента (в объемных долях) в газе Ун = 0,3; в воде Хн = 0; степень извлечения сероводорода 75%; давление в аппарате равно 6 МПа; температуры газа и жидкости оди­наковы и равны 20°С.

11-22. Подобрать стандартизованные тарельчатые абсорбционные колонны по исходным данным, см. Таблица 4, провести расчет гид­равлического сопротивления.

23. Рассчитать насадочный абсорбер для поглощения аммиака из аммиачно-воздушной смеси водой.

Исходные данные: начальное содержание NH3 в смеси составляет 5% (объем.); конечное содержание - 0,27% (объем.); количество посту­пающего газа равно 10000 м3/ч (для нормальных условий); общее дав-

ление газа составляет 760 мм рт.ст.; начальное содержание NH3 в воде составляет 0,2 %(масс.); расход жидкости 14500 кг/ч; температура газа t = 25°С; насадка (правильно уложенная), состоящая из колец Рашига с размерами 50x50x5 мм.

24. Рассчитать однокамерную цилиндрическую сушилку с кипящим слоем для сушки сополимера ВХВД-40.

Исходные данные: производительность по готовому продукту 400 кг/ч, начальное влагосодержание материала W1 = 0,40 кг/кг, конечное влагосодержание w2 = 0,03 кг/кг, критическое wKp = 0,06 кг/кг; средний размер частиц материала dcр = 0,5мм, плотность материала ρм = 1300 кг/м3, коэффициент теплоемкости сухого материала см = 1,2 кДж/(кг⋅К), температура материала на входе в сушилку = 20°С; тем­пература воздуха на входе в сушилку t1 = 120°С, температура воздуха на выходе t2 = 50°С.

25. Рассчитать однокамерную сушилку с кипящим слоем для сушки мыла.

Исходные данные: производительность по высушенному мылу 2100 кг/ч; начальное влагосодержание материала W1 = 0,55 кг/кг, конечное влагосодержание w2 = 0,12 кг/кг, критическое wkр = 0,36 кг/кг; средний размер частиц материала dcp = 8мм; плотность ρм = 1600 кг/м3; коэф­фициент теплоемкости сухого материала см = 2 кДж/(кг-К), темпера­тура материала на входе в сушилку  = 30°С, температура воздуха на входе в сушилку t1 = 160°С, на выходе t2 = 60°С.

26. Рассчитать диаметр, длину, число оборотов, угол наклона бара­бана, необходимую мощность для вращения барабанной сушилки для сушки поливинилхлорида.

Исходные данные: производительность 12000кг/час; начальное влаго­содержание материала W1= 25%, конечное w2 = 0,3%; температура воздуха на входе в сушилку t1 = 130°С; температура на выходе t2 = 55°С; коэффициент теплоемкости сухого материала см =1,2кДж/(кг⋅К); плотность высушенного материала ρм = 550 кг/м3, насып­ная плотность материала ρн = 1200 кг/м3, средний размер частиц dcp = 0,2мм.

27. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТСК-Р. Исходные данные: нагрузка по пару 18000 кг/ч , нагрузка по жидкости 25000 кг/ч; плотность паров ρп = 4,25 кг/м3; плотность жидкости ρж = 800 кг/м3 ;поверхностное натяжение σ = 0,02 н/м , число ступеней из­менения концентрации nст = 24; расстояние между тарелками 0,7 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

28. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки диаммофоса.

Исходные данные: производительность 15000 кг/час; начальное вла­госодержание материала w1 = 4%, конечное влагосодержание w2 = 0,5%; температура воздуха на входе в сушилку t1 = 200°С; на выходе из сушилки t2 = 90°С; коэффициент теплоемкости сухого материала см = 1,05 кДж/(кг⋅К), плотность высушенного материала ρм = 1100 кг/м3, насыпная плотность материала ρн = 1850 кг/м3, средний размер частиц материала dcp = 2мм.

29. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки хлористого аммония.

Исходные данные: производительность 2000 кг/час, начальное влаго­содержание материала w1 = 8%, конечное w2 = 0,8%, температура воз­духа на входе в сушилку t1 = 400°С, на выходе t2 = 120°С, коэффици­ент теплоемкости сухого материала см = 1,2 кДж/(кг-К); плотность ма­териала ρ = 1100 кг/м3; средний размер частиц материала dcp = 0,2мм.

30. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки хлористого калия.

Исходные данные: производительность 3000 кг/ч; начальное влагосо­держание материала w1=7%,конечное влагосодержание w2=0,5%; тем­пература воздуха на входе в сушилку t1 = 700°С, на выходе t2 = 170°С, насыпная плотность материала ρм = 1650 кг/м3, насыпная плотность высушенного материала ρн = 1000 кг/м3; средний размер частиц мате­риала d4 = 1,5мм; удельная теплоемкость сухого продукта см = 1,16 кДж/(кг-К).

31. Рассчитать диаметр и высоту противоточной абсорбционной ко­лонны с регулярной насадкой для поглощения двуокиси углерода во­дой.

Исходные данные: содержание двуокиси углерода в газовоздушной смеси 10% (мольн.); расход газовой смеси составляет 1800 кмоль/ч; давление процесса равно 1,8 МПа; температуры газа и жидкости оди­наковы и равны 20°С. Требуемая степень извлечения двуокиси угле­рода 95%.

32. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТС-Р при следующих исходных данных: нагрузка по пару 15000 кг/ч; нагрузка по жидкости 28000 кг/ч ; плотность паров ρп = 4,25 кг/м3; поверхност­ное натяжение σ =0,02 Н/м; плотность жидкости ρж = 880 кг/м3; число ступеней изменения концентрации nст= 25; расстояние между тарел­ками 0,5 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

1. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки суперфосфата.

Исходные данные: производительность 4000 кг/час; начальное влаго­содержание материала W1 = 14%, конечное w2 = 2%; температура воз­духа на входе в сушилку t1 = 600°С, на выходе t2 = 120°С; коэффици­ент теплоемкости сухого материала см = 1,21 кДж/(кг-К); плотность материала ρм = 1700 кг/м3, плотность высушенного материала ρн = 1000 кг/м3, средний размер частиц материала dср = 2мм.

1. Рассчитать диаметр и длину барабана барабанной сушилки для сушки нитрата натрия.

Исходные данные: производительность 30000 кг/час; начальное влаго­содержание материала W1 = 4%, конечное w2 = 0,5%; температура воз­духа на входе в сушилку t1 = 200°С, на выходе t2 = 60°С; коэффициент теплоемкости сухого материала см = 0,97 кДж/(кг-К), насыпная плот­ность ρм = 2250 кг/м3, насыпная плотность высушенного материала ρн = 1300 кг/м3, средний размер частиц материала dcp = 0,5мм.

1. На ректификационную колонну поступает смесь метанол-вода в количестве 5000 кг/ч, содержащая 40 % (масс.) метанола . Содержание

метанола в дистилляте составляет 98,5% (масс.), в кубовом остатке - 1,5 % (масс.).

Рассчитать ректификационную колонну непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения смеси, если диаметр отверстий в тарелке d = 0,002м; живое сечение отверстий φ= 0,08; высота сливно­го порога h = 0,025 м; объемный расход жидкости в нижней части ко­лонны 2⋅10-3 м3/сек; объемный расход пара 1,5 м3/сек; плотность жид­кости ρж = 925 кг/м3;плотность пара ρп = 0,855 кг/м3; сопротивление тарелки Δр = 450 Н/м2; коэффициент сопротивления тарелки ξ= 1,82; расстояние между тарелками Н = 0,4м.

1. Рассчитать однокамерную цилиндрическую сушилку с кипящим слоем для сушки силикагеля.

Исходные данные: производительность 5500кг/ч; начальное влагосо­держание материала W1 = 0,40 кг/кг; конечное влагосодержание мате­риала w2 = 0,015 кг/кг, критическое wKp = 0,030 кг/кг; средний диаметр частиц dcp = 0,2 мм; плотность материала ρм = 2300 кг/м3, коэффициент теплоемкости сухого материала см= 0,85 кДж/(кг-К),температура ма­териала на входе в сушилку  =18°С, температура воздуха на входе в сушилку t1 = 200°С, на выходе t2 = 70°С.

1. Рассчитать ректификационную колонну с провальными тарелка­ми.

Исходные данные: нагрузка по пару 30000 кг/ч; нагрузка по жидкости 25000 кг/ч; поверхностное натяжение σ= 0,02 н/м; плотность жидко­сти ρж= 720 кг/м3; плотность пара ρп = 3,30 кг/м3; вязкость жидкости μ = 0,006 Па-с; вязкость паров μп= 5 ⋅10-5 Па-с; толщина листа тарел­ки δ = 4мм; ширина шага b = 6мм; расстояние между тарелками Нт = 0,5мм.

1. Рассчитать однокамерную сушилку квадратного сечения с кипя­щим слоем для сушки сополимера ВМК-5.

Исходные данные: производительность 500 кг/ч; начальное влагосо­держание материала W1 = 0,25 кг/кг, конечное влагосодержание w2 = 0,03 кг/кг, критическое wKp = 0,08 кг/кг; средний размер частиц мате­риала dcp = 0,3мм; насыпная плотность материала ρм = 1100 кг/м3; ко­эффициент теплоемкости сухого материала см= 1,2 кДж/(кг-К), температура материала на входе в сушилку  = 18°С; температура воздуха на входе в сушилку t1 = 110°С, температура воздуха на выходе t2 = 45°С.

1. Рассчитать насадочный абсорбер для поглощения аммиака из аммиачно-воздушной смеси водой.

Исходные данные: начальное содержание NH3 в газе 10% (объем.); конечное - 0,2% (объем.); количество поступающего газа составляет 15000 м3/ч ; общее давление газа 760 мм рт.ст; удельный расход по­глотителя *i* = 1,2 кг/кг; температура газа 20°С; нерегулярная насадка в виде колец Рашига с размерами 25x25x3 мм.

1. Рассчитать ректификационную колонну с провальными тарелка­ми.

Исходные данные: нагрузка по пару 34000 кг/ч; нагрузка по жидкости 27500 кг/ч; плотность паров ρп = 3,34 кг/м3; поверхностное натяжение ст = 0,017 н/м; плотность жидкости ρж = 660 кг/м3; вязкость паров μ п = 5⋅10-5 Па-с; вязкость жидкости μж =0,005 Па⋅с; толщина листа тарелки δ = 2мм; ширина шага b = 4мм; число ступеней изменения концентра­ции nст=20; расстояние между тарелками Нт = 0,7м.

41-50. Рассчитать диаметр, высоту и гидравлическое сопротивле­ние тарельчатых ректификационных колонн по исходным данным, приведенным см. *Исходные данные к задачам 2.41 —* 2.50 Таблица 5.

**ЛИТЕРАТУРА**

Учебники

1. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: Учебник. - Изд. 2-е, пере- раб. и доп. - М.: Альфа-М, 2006. - 608 с.: ил.
2. Машины и аппараты химических производств: Учебник для вузов по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов»/ И.И. Поникаров, О.А. Пе- релыгин, В.Н. Доронин, М.Г. Гайнуллин. - М.: Машиностроение, 1989.-368 с.

Учебные пособия

1. Шаповалов Ю.Н., Шейн B.C. Машины и аппараты общехимиче­ского назначения. Учеб. пособие. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. - 304 с.
2. Хуснутдинов В.А., Сайфуллин Р.С., Хабибуллин И.Г. Оборудо­вание производства неорганических веществ: Учеб. пособие для ву­зов. - Л.: Химия, 1987. - 248 с.
3. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / Под. ред. В. Н. Стабникова.- Киев: Вища школа, 1982. - 199 с.
4. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К.В. Фролов (пред.) и др.. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. t.IV - 12 / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алек­сеев и др.; Под общ. ред. М.Б. Генералова. - М.: Машиностроение, 2004,- 832 с

Пособия по проектированию

1. Основные процессы и аппараты химической технологии: Посо­бие по проектированию / Г.С.Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др./ Под ред. Ю.И. Дытнерского. - 2-е изд. - М.: Химия, 1991,- 496 с.
2. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. - М.: Высшая школа, 1982. - 304 с.
3. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. - Л.: Химия, 1991. - 352 с.
4. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппара­ты. Методы расчета и основы конструирования. - 2-е изд. - М.: Хи­мия, 1971.-296 с.
5. Доманский, И В. Машины и аппараты химических производств:
6. Примеры и задачи. Учеб. пособие/ И.В. Доманский, [и др.].- Под общ. ред. В.Н. Соколова- JL: Машиностроение, 1982,- 384 с.
7. Примеры и задачи по курсам МАХП и ОНГП
8. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты ма­шин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): Учебное пособие. - М.: Альфа-М, 2008. - 720 с.
9. Примеры и задачи по курсу «Машины и аппараты химических производств». Под ред. В.М. Ульянова. - Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т., 2003. - 356 с.
10. Машины и аппараты химических производств: Примеры и зада­чи. Учеб. пособие/ И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова- JL: Машиностроение, 1982,- 384 с.
11. Сарданашвили А. Г., Львова А. И. Примеры и задачи по техно­логии переработки нефти и газа.- 2-е изд. М.: Химия, 1980,- 256 с.
12. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник / Г.Г. Рабинович, П.М. Рябых, П.А. Хохряков и др.; Под ред. Е.Н. Судакова. -3-е изд. М.: Химия, 1979. - 568 с.
13. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н. Расчеты процес­сов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. -2-е изд. - Л.: Химия, 1974. - 344 с.
14. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М., Курочкина М.И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (при­меры и задачи). - СПб: Химия, 1993. - 496 с.
15. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987. - 576 с.
16. Маньковский О.Н., Толчинский А.Р., Александров М.В. Тепло­обменная аппаратура химических производств. Инженерные методы расчета. - Л.: Химия, 1976,- 368 с.
17. Теплопередача и аппаратурное оформление
18. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981. - 417с.
19. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи,- М.: Энер­гия, 1977.-342 с.
20. Лунин О.Г., Вельтищев В.Н. Теплообменные аппараты пищевых производств. - М.: Агропромиздат, 1987,- 239 с.
21. 24.0левский В.М., Ручинский В.Р. Роторно - пленочные тепло- и массообменные аппараты. - М.: Химия, 1977. - 208 с.
22. Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенецкий А.Р. Пла­стинчатые и спиральные теплообменники. - М.: Машиностроение, 1973.-288 с.
23. Дрейцер Г.А. Компактные теплообменные аппараты. - М.: МАИ, 1986.-74 с.
24. Шмеркович В.М. Аппараты воздушного охлаждения для техно­логических установок нефтеперерабатывающих и химических заво­дов. -М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1967,- 131 с.
25. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсифи­кацией теплоотдачи.-М.: Энергоатомиздат, 1986-240 с.
26. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по те­плообменным аппаратам. - М.: Машиностроение, 1989. -368с.
27. Справочник по теплообменникам: в 2т. Т. 1 / Пер. с англ. Под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 560 с.
28. Справочник по теплообменникам: в 2т. Т.2/Пер. с англ. Под ред. О.Г. Мартыненко и др. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 352 с.
29. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник.- М.: Энергоатомиздат, 1983. - 552 с.
30. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Спра­вочник. - М.: Энергоиздат, 1982. - 510 с.
31. Стандартные кожухотрубчатые теплообменные аппараты обще­го назначения. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. - 39 с.
32. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специ­ального назначения. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. - 106 с.
33. Теплообменники типа «труба в трубе». Каталог. - М.: ЦИНТИ­химнефтемаш, 1979. - 25 с.
34. Трубчатые теплообменные аппараты из фторопласта. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1984. - 23 с.
35. Аппараты воздушного охлаждения. 4.1 и 4.2. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. - 21 с.
36. Пластинчатые теплообменные аппараты. Каталог. - М.: ЦИН­ТИхимнефтемаш, 1983. - 56 с.
37. Стальные спиральные теплообменники. Каталог. - М.: ЦИНТИ-
38. химнефтемаш, 1976. - 23 с.
39. ГОСТ 9929 - 77. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые стальные. Типы. Основные параметры и размеры.
40. ГОСТ 15122 - 79. Теплообменники кожухотрубчатые с непод­вижными трубными решетками и с температурным компенсатором на кожухе.
41. ГОСТ 14246 - 79. Теплообменники кожухотрубчатые с пла­вающей головкой. Основные параметры и размеры.
42. ГОСТ 14245 - 79. Теплообменники кожухотрубчатые с U - об­разными трубами. Основные параметры и размеры.
43. ГОСТ 11875 -79. Аппараты с вращающимися барабанами обще­го назначения. Основные параметры и размеры.
44. Справочник - каталог (Промышленная кожухотрубчатая тепло­обменная аппаратура). - М.: ВНИИНЕФТЕМАШ, ИНТЕК ЛТД, 1992. - 265 с.
45. Массопередача и аппаратурное оформление
46. Кафаров В.В. Основы массопередачи. - 3-е изд. - М.: Высшая школа, 1979,- 494 с.
47. Шервуд Т., Пигфорд Р.Л., Уилки Ч. Массопередача. Пер. с англ.; Под ред. В.А.Малюсова. - М.: Химия, 1982. - 696 с.
48. Александров И.А. Массопередача при ректификации и абсорб­ции многокомпонентных смесей. - Л.: Химия, 1975. - 320 с.
49. Рамм В.М. Абсорбция газов. - М.: Химия, 1976. - 656 с.
50. Семенова Т.А., Лейтес И.Л., Аксельрод Ю.В. и др. Очистка тех­нологических газов. -М.: Химия, 1969. - 392 с.
51. Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректифи­кации,- 3-е изд. - М.: Химия, 1974. - 439 с.
52. Стабников В.Н. Перегонка и ректификация спирта. - М.: Пище- промиздат, 1962. - 503 с.
53. Петлюк Ф.Б., Серафимов Л.А. Многокомпонентная ректифика­ция. Теория и расчет. - М.: Химия, 1983. - 304 с.
54. Коган В.Б. Азеотропная и экстрактивная ректификация. - Л.: Химия, 1971.-432 с.
55. 56.Основы жидкостной экстракции / Под ред. Г.А. Ягодина.- М.: Химия, 1981,- 400 с.
56. Теплообмен, сушка и оборудование
57. Теория тепломассопереноса /Под ред. А.Н. Леонтьева. - М.: Высшая школа, 1979. - 495 с.
58. Промышленные тепломассообменные процессы и установки / Под ред. А.М. Бакланова. - М.: Энергоиздат. 1986. - 327 с.
59. Промышленные тепломассобменные процессы и установки. / А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.А. Данилов и др.- М.: Энергоатом­издат, 1986. - 327 с.
60. Лебедев П.Д., Щукин А.А. Теплоиспользующие установки про­мышленных предприятий. - М.: Энергия, 1970,- 408 с.
61. Лыков М.В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1968,- 470 с.
62. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. - М.: Хи­мия, 1976,- 432 с.
63. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоя­нии. - 3-е изд. - Л.: Химия, 1979,- 272 с.
64. Сажин Б.С. Основы техники сушки. - М.: Химия, 1984. - 319 с.
65. Лыков М.В., Леончик Б.М. Распылительные сушилки. - М.: Машиностроение, 1966. - 336 с.
66. Сушильные аппараты и установки. Каталог. - М.: ЦИНТИхим­нефтемаш, 1988. - 72 с.

Справочники Расчет и конструирование

1. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологи­ческого и природоохранного оборудования. Справочник, т.2. - Калуга, издательство Н.Бочкаревой, 2002. - 1028 с.
2. Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппара­тов и машин нефтеперерабатывающих заводов. - М.: Машинострое­ние, 1978. - 328 с.
3. Конструирование и расчет машин химических производств / Под. общ. ред. Э.Э. Кольмана-Иванова.- М.: Машиностроение, 1985. - 408 с.
4. Машины химических производств. Атлас конструкций / Под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. - М.: Машиностроение, 1981. - 118 с.
5. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи / М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, И.А. Мильченко и др.; Под. общ. ред. М.Ф. Михалева. - Л.: Машинострое­ние, 1984. - 301 с.
6. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппа­ратов: Справочник,- Л: Машиностроение, 1981,- 382 с.
7. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. - Л.: Машиностроение,
8. 1970.-752 с.
9. Криворот А. С. Конструкции и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. Учеб. пособие для техни­кумов. - М.: Машиностроение, 1976. - 376 с.
10. Теплофизические параметры
11. Чиркин B.C. Теплопроводность промышленных материалов. Справочное пособие. - 2-е изд.- М.: Машгиз, 1962,- 247 с.
12. Теплофизические свойства веществ. Справочник. - М. - JL: Госэнергоиздат, 1956,- 367 с.
13. Теплофизический справочник. Под общ. ред. В.Н. Юренева и П. Д. Лебедева, т. 2. - М.: Энергия, 1976. - 896 с.
14. Варгафтик Н.Б. Справочник по тепло физическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Физматгиз, 1963. - 708 с.
15. Теплофизические свойства веществ и материалов, вып. 11. - М.: Издательство стандартов, 1977. - 160
16. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей. - М.-Л.: Хи­мия,1970,- 535 с

**Приложение**

Таблица 1. Теплофизические свойства воды

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t,  0C | ρ,  кг/м3 | ср,  кДж/(кг·К) | λ·102  Вт/(м·К) | υ·106  м2/с | Рr |
| 0 | 999,9 | 4,212 | 55,1 | 1,789 | 13,67 |
| 20 | 998,2 | 4,183 | 60,0 | 1,006 | 7,02 |
| 40 | 992,2 | 4,174 | 63,5 | 0,659 | 4,31 |
| 60 | 983,3 | 4,178 | 66,0 | 0,478 | 2,98 |
| 80 | 971,8 | 4,195 | 67,5 | 0,366 | 2,21 |
| 100 | 968,4 | 4,220 | 68,3 | 0,291 | 1,75 |

Таблица 2 Параметры парогазовой смеси

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Компоненты | Температура, | Масс. | Плотность, | Энтальпия, |
| фракции | °С | доли | кг/м3 | кДж/кг |
| Бензин | 45 | 0,96 | 698,8 | 120,2 |
| Вода | 45 | 0,03 | 998,8 | 181,3 |
| Водород | 45 | 0,01 | 2,15 | 489,9 |

Таблица 3. Теплофизические свойства МЭА

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наимено-  вание  теплоно-  сителя | Средняя  темпе-  ратура,  °С | Плотность,  кг/м3 | Коэффи-­  циент  теплопро-­  водности,  Вт/(м·К) | Теплоем-­  кость,  кДж/(кг·К) | Кинемати-­  ческая  вязкость,  м2/с |
| Регенери-  рованный  раствор | 102 | 960 | 0,59 | 4,18 | 0,34⋅10-6 |
| Насы-  щенный  раствор | 71 | 980 | 0,56 | 4,04 | 0,55⋅10-6 |

Таблица 4. Исходные данные к задачам 11 - 22

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип тарелки | Gг⋅10-3, кг/час | Lж⋅10-3, кг/час | ρг, кг/м3 | ρж, кг/м3 | σ⋅103, Дж/м2 | μг⋅106, Па⋅с | μж⋅103, Па⋅с | nст |
| 11 | колп. | 3,0 | 2,5 | 3,6 | 850 | 17 | 5,6 | 4,2 | 20 |
| 12 | колп. | 9,0 | 7,5 | 6,3 | 920 | 20 | 8,0 | 6,3 | 14 |
| 13 | клапан. | 7,4 | 6,3 | 2,4 | 950 | 25 | 2,3 | 3,6 | 16 |
| 14 | клапан. | 26,6 | 24,8 | 6,6 | 845 | 48 | 4,7 | 2,8 | 16 |
| 15 | клапан. | 21,2 | 19,8 | 7,8 | 920 | 18 | 2,3 | 4,3 | 17 |
| 16 | клапан. | 17 | 16,0 | 5,5 | 750 | 24 | 3,6 | 5,7 | 14 |
| 17 | сит. | 4,6 | 4,2 | 5,6 | 920 | 28 | 4,2 | 3,8 | 10 |
| 18 | сит. | 6,9 | 5,6 | 4,8 | 770 | 37 | 2,4 | 4,5 | 13 |
| 19 | ситч. | 16,1 | 15,2 | 5,2 | 930 | 35 | 1,5 | 6,3 | 8 |
| 20 | провал. | 36,8 | 33,5 | 4,6 | 870 | 29 | 1,6 | 4,2 | 12 |
| 21 | провал. | 43,3 | 47,5 | 5,8 | 675 | 41 | 1,8 | 2,4 | 14 |
| 22 | провал. | 30,1 | 29,5 | 9,7 | 890 | 36 | 2,3 | 2,7 | 10 |

*Примечание:* Сит. - ситчатая; клапан. - клапанная; колп. - колпачковая; провал. - провальная; Gг -нагрузка колонны по газу; Lж - нагрузка колонны по жидкости; рг, рж - плотность газа и жидкости; σ - поверхностное натяжение жидкости; μг, μж - вязкости газа и жидкости, nст - число ступеней изменения концентрации.

Таблица 5. Исходные данные к задачам 41-50

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | исходная смесь | Тип тарелки | GF  кг/час | xF, | xD | xW | Р, МПа | tохл,  0 С |
| 41 | бензол-толуол | сит. | 13000 | 0,25 | 0,95 | 0,03 | 2,5 | 18 |
| 42 | бензол-толуол | клапан. | 15500 | 0,43 | 0,94 | 0,025 | 3 | 19 |
| 43 | бензол-толуол | колп. | 17000 | 0,52 | 0,90 | 0,035 | 3,5 | 20 |
| 44 | Вода – у.к. | сит. | 15000 | 0,40 | 0,92 | 0,02 | 3 | 22 |
| 45 | Вода – у.к. | клапан. | 17500 | 0,65 | 0,96 | 0,05 | 3 | 23 |
| 46 | Вода – у.к. | реш. | 22500 | 0,35 | 0,90 | 0,060 | 4 | 19 |
| 47 | М. сп.-э. сп | сит | 12500 | 0,42 | 0,94 | 0,045 | 3,5 | 18 |
| 48 | М. сп.-э. сп | колп. | 21000 | 0,62 | 0,93 | 0,04 | 2,5 | 21 |
| 49 | М. сп.-э. сп | реш. | 135000 | 0,30 | 0,95 | 0,02 | 3,5 | 21 |
| 50 | Хл.ф.-б. | сит. | 20000 | 0,52 | 0,96 | 0,05 | 4 | 20 |

*Примечание*: Сит.- ситчатая; клапан.- клапанная; колп.- колпачковая; реш. - решетчатая; Б.-т. - бензол-толуол; М. сп.- вода -метиловый спирт- вода., М. сп.-э. сп. - метиловый спирт - этиловый спирт; Вода-у.к. - вода- уксусная кислота', Хл.ф-б. - хлороформ-бензол; Gf - производительность колонны по питанию; XF, XD, X w - массовые доли низкокипящего компонента соответственно в пита­нии, дистилляте и остатке; Р - абсолютное давление пара в колонне; toxл - температура охлаждающей воды на дефлегматор.