МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

**«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Институт промышленных технологий и инжиниринга**

Кафедра «Переработка нефти и газа»

**Технологические расчеты в процессах синтеза полимеров**

*Методические указания по выполнению контрольных работ по дисциплине «Химия и физика полимеров» для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология очной и заочной форм обучения*

Составитель ***Ю.П. Гуров,***

***доцент***

Тюмень

ТИУ

2018

Методические указания по выполнению контрольных работ по дисциплине «Химия и физика полимеров» для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология очной и заочной форм обучения / сост. Ю.П. Гуров; Тюменский индустриальный университет. - Тюмень: Издательский центр БИК ТИУ 2018 - 36 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры «Переработка нефти и газа».

«26» апреля 2018 года, протокол № 11

**Аннотация**

Методические указания по выполнению контрольных работ по дисциплине «Химия и физика полимеров» для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология очной и заочной форм обучения

В методических указаниях собраны примеры и задания по расчету основных технологических параметров процессов получения полимеров: размеров реакционных аппаратов, загрузки сырья, тепловой нагрузки реакторов, расхода теплоносителей (хладоагентов) и др.

**Содержание**

**Введение**  4

**Глава 1. Элементы расчетов химико-технологических процессов** 5

1.1. Тепловые расчеты химико-технологических процессов 5

1.2. Соотношение единиц измерения 7

1.3. Справочные сведения 8

1.4. Примеры и задачи к главе 1 16

**Глава 2. Получение полиолефинов в промышленности** 18

2.1. Примеры и задачи к главе 2 20

Список рекомендуемых источников 34

**Введение**

Целью настоящего учебного пособия является закрепление знаний по дисциплине «Химия и физика полимеров», а также приобретение навыков технологических расчетов по различным процессам.

Задачи и расчеты посвящены наиболее востребованным и перспективным полимерам и технологическим процессам их получения. Методические указания содержат примеры решения задач, а также задачи по расчету основных технологических параметров: размеров реакционных аппаратов, загрузки сырья, тепловой нагрузки реакторов, расхода теплоносителей (хладоагентов) и др.

Задачи можно использовать для решения на групповых практических занятиях, а можно в качестве индивидуальных заданий, в том числе и при подготовке к выполнению курсовых и выпускных квалификационных проектов.

В методические указания включены некоторые справочные сведения, а также основные теоретические моменты, необходимые для выполнения химико-технологических расчетов.

**Глава** **1** **Элементы** **расчетов** **химико-технологических** **процессов**

**1.1** **Тепловые** **расчеты химико-технологических** **процессов**

Переработка сырья в химических реакторах связана с затратой (подводом) теплоты или с ее отводом. Чтобы определить расход теплоносителя и поверхности теплообмена аппаратов, составляют тепловой баланс, уравнение которого в общем виде



т.е. приход теплоты в аппарат должен быть равен расходу теплоты в этом же аппарате.

Тепловой баланс рассчитывают по данным материального баланса (на единицу времени для аппаратов непрерывного действия или на цикл работы для аппаратов периодического действия) с учетом подвода теплоты извне, ее отвода с продуктами реакции и теплоносителем, а также с учетом тепловых эффектов химических реакций и физических превращений. Для расчета используют уравнение



Величины *Qисх* и *Qпрод* рассчитывают для каждого вещества, поступающего в аппарат и выходящую из него (по данным материального баланса):



где *m* – масса вещества, кг; *с* – средняя теплоемкость этого вещества, Дж/(кг\*К); *t* – температура, оС.

*Qф* и *Q′ф* - теплота физических превращений, происходящих с выделением (*Qф*) или с поглощением (*Q′ф*) тепла, рассчитывают для каждого из веществ, претерпевших фазовые переходы:



где *r* – теплота фазового перехода (например, парообразования), Дж/кг. Величины *Q*р и *Q′*p – количество теплоты, выделяемое (*Q*р) при экзотермических или поглощаемое (*Q′*p) при эндотермических реакциях, рассчитывают, пользуясь величинами тепловых эффектов реакций.

*Q*п – количество теплоты, подводимой в аппарат извне, а потери теплоты в окружающую среду, а также ее отвод через теплообменные устройства.

Тепловой эффект можно определить расчетным путем, исходя из теплоты образования или теплоты сгорания веществ, участвующих в реакции, по формуле



или



Значения теплоты образования (сгорания) веществ приведены в физико-химических и термодинамических справочниках. Возможно определение Δ*Н*обр и Δ*Н*сгор расчетным путем одним из способов.

1. По энергиям разрыва связей:



где *ni* – число связей данного вида в исходных веществах и конечных продуктах, а *Ei* – энергии связи. Энергии разрыва связи приводятся в справочниках.

2. По теплоте образования веществ, лежащих в начале соответствующего гомологического ряда, с суммированием поправок, приписываемых различным группам, входящим в молекулу. Значения поправок приводятся в справочной литературе.

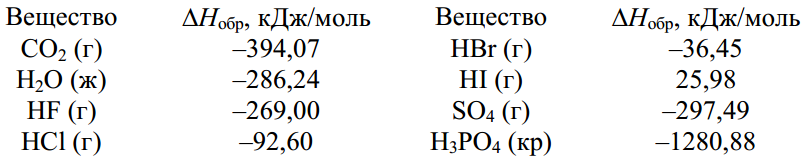
3. По составляющим связей, значения которых приведены в справочной литературе. При расчете по составляющим связей используют правило аддитивности.

4. Теплоту сгорания можно найти по *уравнению* *Коновалова* (в кДж/моль):



где *n* – число атомов кислорода, необходимое для полного сгорания вещества; *m* – число моль образующейся воды; *х* – поправка (термическая характеристика), постоянная в пределах гомологического ряда и равная нулю для предельных соединений.

5. Считая, что продуктами сгорания органических веществ являются CO2, H2O, N2, HCl, SO2 и H3PO4, можно, применяя закон Гесса, определить теплоту сгорания вещества, пользуясь стандартными теплотами образования:



Чаще всего целью теплового расчета является определение тепловой нагрузки аппарата: *Q*п – теплового потока, передаваемого теплоносителем в аппарат или *Q′*п – теплового потока, отнимаемого хладоагентом у аппарата. Эти величины определяют из уравнения теплового баланса и используют для нахождения площади поверхности теплообмена, расхода теплоносителей и ряда других конструкционных и эксплуатационных характеристик работы аппарата.

Для расчетов используют формулы:



а)

где *F* – площадь поверхности теплообмена, м2; *Q*п – тепловой поток, Вт; *K* – коэффициент теплопередачи, Вт/(м2\*К); Δ*Т*ср – средний температурный напор, К.

б)

где *m* – массовый расход теплоносителя, кг/с; *Q*п – тепловой поток, Вт; *с* – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг\*К); *t*1 и *t*2 – начальная и конечная температура теплоносителя, оС.



в)

где *m* – массовый расход теплоносителя, кг/с; *Q*п – тепловой поток, Вт; *r* – теплота фазового перехода теплоносителя, Дж/кг.

**1.2** **Соотношение** **единиц** **измерения**

Значительная часть ошибок при выполнении технологических расчетов возникает из-за несоблюдения размерности используемых в расчетах величин. Для исключения ошибок целесообразно в порядке напоминания привести ряд рекомендаций.

1. *Удельный* *вес* (вес единицы объема) γ и *плотность* (масса единицы объема) ρ связаны зависимостью:



где *g* – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с2.

Плотность в единицах СИ (кг/м3) численно равняется удельному весу в системе МК ГСС (кгс/м3).

2. *Тепловой* *поток* через стенку *Q* равен:





где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м\*К); δ – толщина стенки, м; *F* – поверхность передачи тепла, м2; Δ*t* – разность температур по обе стороны стенки.

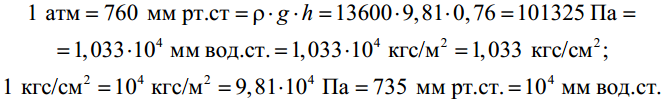
3. *Динамический* *коэффициент* *вязкости* µ:



4. Коэффициент теплопроводности – *K*:



5. Соотношение между единицами давления:



6. Ориентировочные значения скоростей при расчете заводских трубопроводов приведены ниже:

|  |  |
| --- | --- |
| Газы при естественной тяге | 2-4 м/с |
| Газы при атмосферном и близком к нему давлении в вентиляционных газоходах и трубопроводах | 5-20 м/с |
| Жидкость при движении самотеком | 0,1-0,5 м/с |
| Водяной пар при абсолютном давлении | 0,5-2,5 м/с |
|  | 15-40 м/с |
|  | 40-60 м/с |

7. В уравнении Клапейрона для 1 моль газа , газовая постоянная равна:



8. Плотность любого газа при температуре *Т* и давлении *P* может быть рассчитана по формуле





где – плотность газа при н.у., *М* – мольная масса газа, кг/кмоль.

Например, молярная масса кислорода – МО2 = 31,9988 кг/кмоль; водорода - МН2 = 2,015 кг/кмоль; азота – МN2 = 28,013 кг/кмоль.

При н.у. давление – *Р*0 = 1,01325\*105 Па; температура – *Т*0 = 273,15 К.

9. Работа, энергия – Вт\*ч = 3,6\*103 Дж.

**1.3** **Справочные** **сведения**

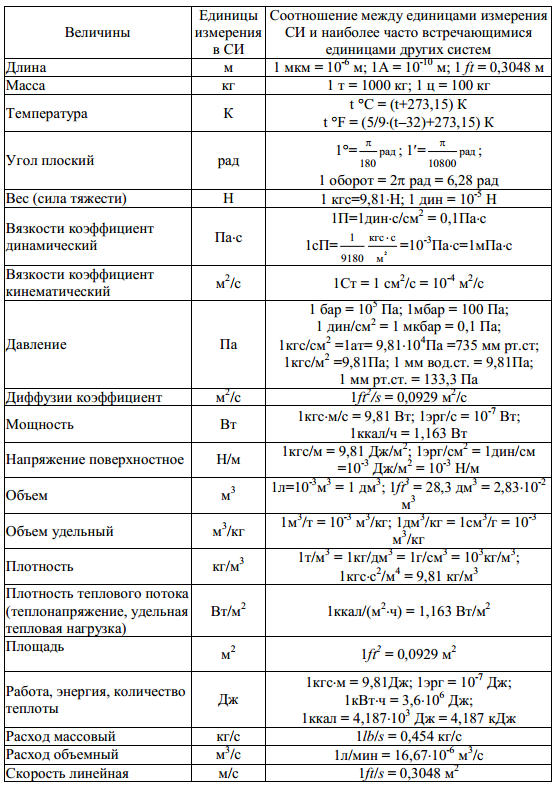
Таблица 1.1 Значения приставок единиц измерения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение | Множитель | Наименование | Обозначение | Множитель |
| Пико | П | 10-12 | Дека | Да | 101 |
| Нано | Н | 10-9 | Гекто | г | 102 |
| Микро | мк | 10-6 | Кило | к | 103 |
| Милли | м | 10-3 | Мега | М | 106 |
| Санти | с | 10-2 | Гига | Г | 109 |
| Деци | д | 10-1 | Тера | Т | 1012 |

Таблица 1.2 Рекомендуемые обозначения и единицы измерения величин

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Величины | Обозначение | Единицы измерения |
| Производительность (мощность) установки, аппарата | *N* | кг/с, кг/ч, м3/ч, т/сут, т/год |
| Массовый расход вещества | *G* | кг/с, кг/ч, т/сут, т/год |
| Объемный расход вещества | *U* | м3/с, м3/ч, м3/сут |
| Продолжительность процесса (время) | τ | с, ч, сут, год |
| Масса вещества | *m* | г, кг, т |
| Объем вещества | *V* | л, м3 |
| Давление | *P* | Па, кПа, МПа |
| Температура | *t*, *T* | оС, К |
| Парциальное давление компонента | *p* | Па, кПа, МПа |
| Парциальный объем компонента | *v* | л, м3 |
| Плотность вещества | ρ | кг/м3 |
| Мольная масса вещества | *М* | кг/моль |
| Мольный объем вещества | *V*М | м3/моль |
| Массовая доля компонента смеси | ω | доли ед., % |
| Мольная доля компонента смеси | *х* | доли ед., % |
| Объемная доля компонента смеси | φ | доли ед., % |
| Количество вещества | *n* | моль, кмоль |
| Концентрация компонента в суспензии или газовой смеси, массовая и мольная | *Сi* и *xi* | кг/м3 и кмоль/м3 |
| Конверсия вещества | α | доли ед., % |
| Выход продукта | *x* | доли ед., % |
| Селективность | ψ | доли ед., % |
| Объемная скорость подачи газов, жидкостей | *V*О | ч-1, с-1 |
| Объем катализатора | *V*К | м3 |
| Площадь поперечного сечения аппарата | *S* | м3 |
| Диаметр аппарата | *D*, *d* | м |
| Высота аппарата | *H*, *h* | м |
| Длина аппарата | *L*, *l* | м |
| Площадь поверхности теплообмена | *F* | м2 |
| Линейная скорость потока | *w* | м/с |
| Тепловой поток (расход теплоты в единицу времени) | *Q* | Вт, кВт |
| Количество теплоты | *q* | Дж, кДж |
| Коэффициент теплопередачи | *К* | Вт/(м2\*К) |
| Удельная теплоемкость | *с* | Дж/(кг\*К) |
| Теплота фазового перехода | *r* | Дж/кг |
| Частота вращения | *n* | об/с, с-1 |
| Коэффициент теплоотдачи | α | Вт/(м2\*К) |
| Коэффициент теплопроводности | λ | Вт/(м\*К) |

Таблица 1.3 - Соотношения между единицами измерения



Продолжение табл.1.3

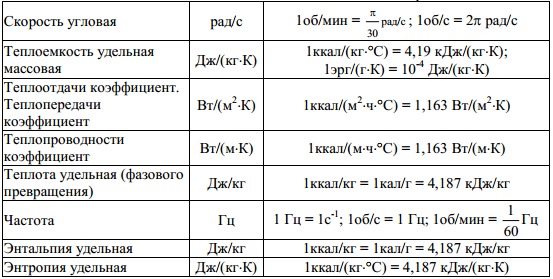


Таблица 1.4 Теплофизические свойства полимерных материалов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Полимерный материал | Теплопроводность, Вт/(м∙К) | Теплоемкость, кДж/(кг∙К) | Температуро-проводность, м2/с | Средний коэффициент линейного расширения (∙105), К-1 |
| ПЭНП | 0,32–0,36 | 1,8–2,5 | 1,3–1,5 | 21,55 |
| ПЭВП | 0,42–0,44 | 2,1–2,9 | 1,9 | 17–55 |
| ПП | 0,19–0,21 | 1,93 | 1,3 | 11–18 |
| ПС | 0,09–0,14 | 1,16–1,3 | 0,94 | 6–7 |
| АБС | 0,12 | 1,24 | 0,9 | 8–10 |
| ПВА | 0,016–0,017 | 1,63 | 0,8 | 8–9 |
| ПВХ | 0,16 | 1,11 | 0,118 | 6–8 |
| ПТФЭ | 0,2–0,3 | 1,38 | 1,16 | 8–25 |
| ПА | 0,38 | 2,0 | 1,73 | 12–30 |
| ПЭТФ | 0,20 | 0,99 | 1,56 | 8–13 |
| ПММА | 0,19–0,20 | 1,3–2,1 | 0,9–011 | 7–12 |
| ПК | 0,31 | 1,37 | 0,8–1,9 | 2–6 |
| ПСФ | 0,20–0,22 | 2,5–4,0 | 0,6–0,7 | 5–6 |
| Фенопласты | 0,2–0,5 | 1,0–2,3 | 0,9 | 1,0–4,0 |
| Аминопласты | 0,28–0,34 | 1,1–1,9 | 0,95 | 1,5–3,3 |
| Эпоксипласты | 0,3–0,42 | – | – | 0,8–2,5 |

Таблица 1.5 – Свойства непредельных соединений

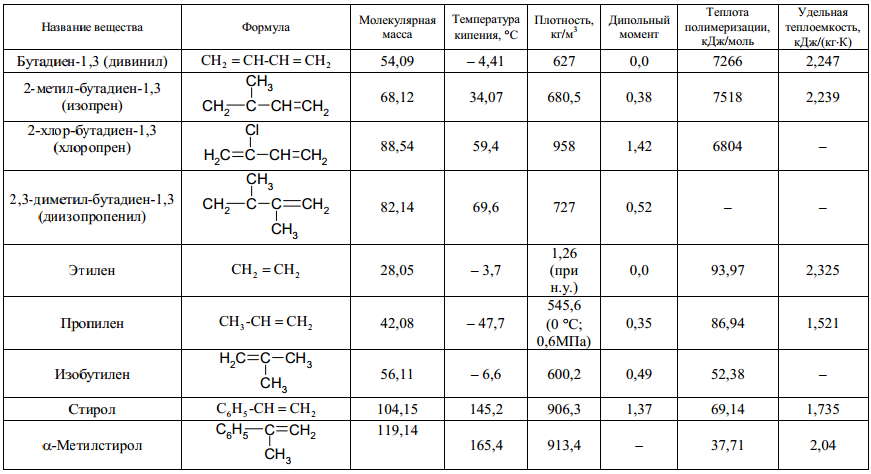


Таблица 1.7 - Основные физические свойства наполнителей, используемых в полимерных материалах

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наполнитель | Плотность, кг/м3 | С, кДж/(кг∙К) | Теплопроводность, Вт/(м∙К) |
| *Органические* | | | |
| Древесная мука | 150 | 1,76 | 0,25 |
| Древесные опилки | До 220 | 0,08 | 0,06 |
| Технический углерод (сажа) | 165 | – | 0,17 |
| Бумага | 700–900 | 0,39 | 0,06 |
| Картон | 1200 | 0,39 | 0,07 |
| Волокно: |  |  |  |
| Полиамидное | 1150 | 0,21 | 0,28 |
| Арамидное | 1430 | 1,40 | 0,04 |
| Полиэфирное (лавсан) | 1380 | 1,63 | 0,28 |
| Полипропиленовое | 900 | 1,85 | 0,26 |
| Углеродное высокомодульное | 1860 | 5,44 | 102,0 |
| Углеродное высокопрочное | 1760 | – | 22,0 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Неорганические* | | | |
| Каолин | 2580 | 0,89 | 0,18 |
| Мел | 2800 | 0,82 | 2,40 |
| Известняк | 2700 | 0,84 | 1,05 |
| Асбест | 2500 | 0,94 | 0,17 |
| Слюда | 290 | 0,87 | 0,60–2,54 |
| Дисульфид молибдена | 4800 | 0,70 | 2,80 |
| Нитрид бора | 1300 | 1,10 | 2,70 |
| Аэросил | 2650 | 1,12 | 1,08 |
| Стеклосферы | 2460 | 1,13 | 1,05 |
| Стекловолокно | 2500 | 1,06 | 0,98 |
| Стекловата | 200 | 0,67 | 0,04 |
| Бронза (порошок) | 2600 | 0,53 | 3,80 |

Таблица 1.8 Физические свойства воды

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| P, кгс/см2 | t, оС | ρ, кг/м3 | i′, кДж/кг | C, кДж/кг∙К | λ∙102, Вт/м∙К | α∙107, м2/с | µ∙106, Па∙с | ν∙106, м2/с | β∙104, К-1 | σ∙104, кг/см2 | Pr |
| 1 | 20 | 998 | 83,8 | 4,19 | 59,9 | 1,43 | 1000 | 1,01 | 1,82 | 727 | 7,02 |
| 1 | 30 | 996 | 126 | 4,18 | 61,8 | 1,49 | 804 | 0,81 | 3,21 | 712 | 5,42 |
| 1 | 40 | 332 | 168 | 4,18 | 63,4 | 1,53 | 657 | 0,66 | 3,87 | 697 | 4,31 |
| 1 | 50 | 988 | 210 | 4,18 | 64,8 | 1,57 | 549 | 0,556 | 4,49 | 677 | 3,54 |

Таблица 1.9 Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Давление абсолютное, кгс/см2 | Температура,оС | Удельный объем, м3/кг | Плотность, кг/м3 | Удельная энтальпия жидкости (i′), кДж/кг | Удельная энтальпия пара (i″), кДж/кг | Удельная теплота парообразования |
| 1,0 | 99,1 | 1,727 | 0,5790 | 415,2 | 2677 | 2264 |
| 1,20 | 104,2 | 1,457 | 0,6865 | 437,0 | 2686 | 2249 |
| 1,4 | 108,7 | 1,261 | 0,7931 | 456,3 | 2693 | 2237 |
| 1,6 | 112,7 | 1,113 | 0,898 | 473,1 | 2703 | 2227 |
| 1,8 | 116,3 | 0,997 | 1,003 | 483,6 | 2709 | 2217 |
| 2,0 | 119,6 | 0,903 | 1,107 | 502,4 | 2710 | 2208 |
| 3,0 | 132,9 | 0,6180 | 1,618 | 558,9 | 2730 | 2171 |
| 4,0 | 142,9 | 0,4718 | 2,120 | 601,1 | 2744 | 2141 |
| 5,0 | 151,1 | 0,3825 | 2,614 | 637,7 | 2754 | 2117 |

Таблица 1.10 - Плотность водных растворов NaOH (20 оС)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Плотность, г/см2 | Нормальность раствора | Содержание NaOH | |
| % масс. | г/л |
| 1,054 | 1,317 | 5 | 52,69 |
| 1,065 | 1,597 | 6 | 63,89 |
| 1,109 | 2,772 | 10 | 110,9 |
| 1,219 | 6,095 | 20 | 243,8 |
| 1,274 | 7,963 | 25 | 318,5 |
| 1,328 | 9,960 | 30 | 398,4 |
| 1,430 | 14,300 | 40 | 572,0 |
| 1,525 | 19,068 | 50 | 762,7 |

Таблица 1.11 Плотность водных растворов соляной кислоты (15 оС)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Плотность, г/см2 | Нормальность | Содержание HCl | | Поправка на 1 оС (±) |
| раствора | % масс. | г/л |
| 1,025 | 1,446 | 5,14 | 52,7 | ρ=от 1,000 до 1,040±0,0002 |
| 1,050 | 2,929 | 10,17 | 106,8 |
| 1,075 | 4,471 | 15,16 | 163,0 |
| 1,100 | 6,037 | 20,02 | 220,1 |
| 1,130 | 7,981 | 25,75 | 291,0 | ρ=от 1,156 до 1,200±0,0006 |
| 1,155 | 9,679 | 30,55 | 352,9 |
| 1,180 | 11,45 | 35,38 | 417,5 |
| 1,200 | 12,87 | 39,11 | 469,3 |

Таблица 1.12 Плотность водных растворов формальдегида (мета) (СН2О)2 (18 оС)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| % | ρ, кг/м3 | % | ρ, кг/м3 | % | ρ, кг/м3 | % | ρ, кг/м3 |
| 2 | 1000,8 | 12 | 1034,2 | 22 | 1066,5 | 32 | 1098,3 |
| 4 | 1010,6 | 14 | 1041,0 | 24 | 1073,0 | 34 | 1104,3 |
| 6 | 1016,2 | 16 | 1047,5 | 26 | 1079,5 | 36 | 1110,8 |
| 8 | 1022,0 | 18 | 1053,9 | 28 | 1085,9 | 38 | 1117,3 |
| 10 | 1028,0 | 20 | 1060,2 | 30 | 1092,1 |  |  |

Таблица 1.13 - Плотность водных растворов NН4ОН (15 оС)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Плотность, г/см2 | Нормальность раствора | Содержание NН4ОН | |
| % масс. | г/л |
| 0,958 | 5,89 | 10,47 | 100,3 |
| 0,942 | 8,32 | 15,04 | 141,7 |
| 0,926 | 10,80 | 19,87 | 184,2 |
| 0,910 | 13,35 | 24,99 | 227,4 |
| 0,894 | 15,94 | 30,37 | 271,5 |
| 0,882 | 18,10 | 34,95 | 308,3 |

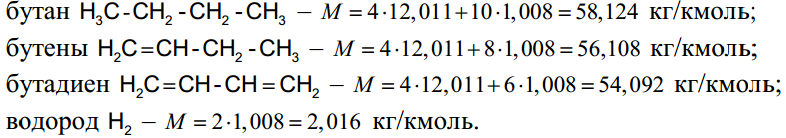
**1.4** **Примеры** **и** **задачи** **к** **главе** **1**

**Пример** **1.1**

Необходимо определить мольные доли компонентов смеси, если массовые доли их в смеси равны: бутан – 50 %; бутены – 30 %; бутадиен – 15 %; водород – 5 %. Общая масса смеси равны 15000 кг.

***Решение***

1. Определяем относительные мольные массы компонентов смеси:



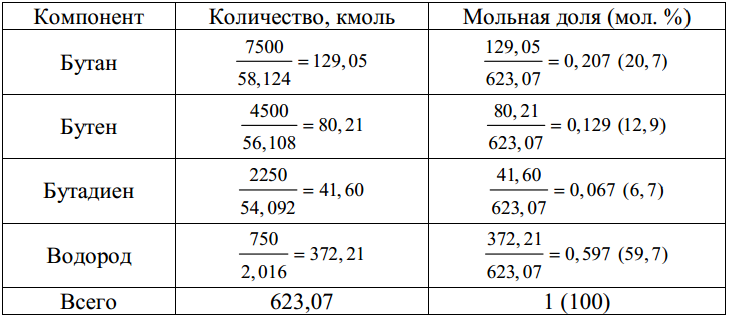
2. Определяем массы отдельных компонентов смеси:

15000 кг – 100%, бутан, х кг – 50%, тогда масса бутана

Аналогично рассчитываем массы остальных компонентов смеси: бутены – 4500 кг; бутадиен – 2250 кг и водород – 750 кг.

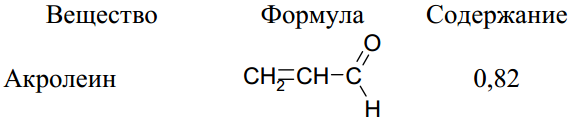
3. Определяем долю каждого компонента в смеси (табл. 1.15):

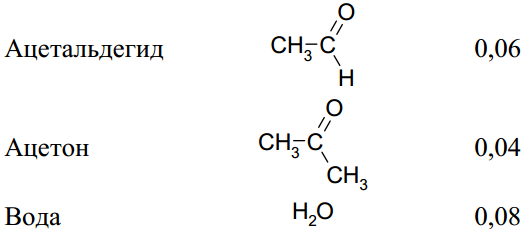
Таблица 1.15 - Мольные доли компонентов смеси



**Пример** **1.2**

Известны мольные доли компонентов в акролеине-сырце:

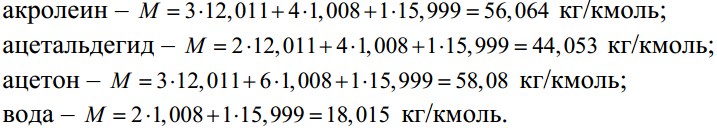




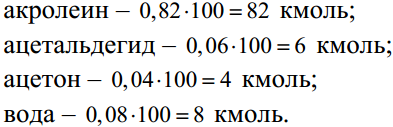
Вода H2O 0,08 Необходимо определить массовые доли компонентов.

***Решение***

1. Определяем относительную мольную массу компонентов смеси:

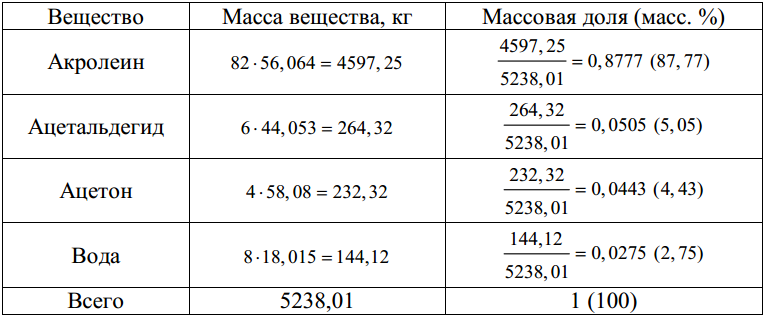


2. Определяем количество каждого компонента в 100 моль смеси:



3. Определяем массу каждого компонента, массу смеси и массовые доли каждого компонента (табл. 1.16):

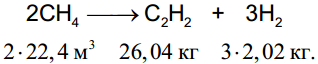
Таблица 1.16 – Массовые доли компонентов смеси



**Пример** **1.3**

Необходимо определить селективность процесса пиролиза метана. Пусть пиролизу подвергли 1500 м3 метана, степень превращения метана составила 60 %, масса ацетилена в продуктах пиролиза составляет 400 кг.

Уравнение реакции пиролиза:

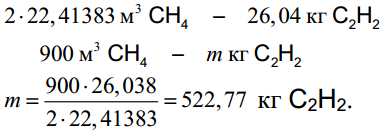


***Решение***

1. Определяем объем превращенного метана:

1500 · 0,6 = 900 м3

2. Теоретически возможную массу ацетилена в расчете на превращенный метан определяют исходя из стехиометрических соотношений по пропорции:



1. Определяем селективность процесса:



**Задача** **1.1**

Определите годовую производительность колонны синтеза аммиака в расчете на 100 %-й аммиак, если каждый час (на новых установках) вырабатывается 30 т 99 %-го аммиака.

**Задача** **1.2**

Колонну для окисления твердого парафина загружают 40 т парафина, который занимает 75 % объема колонны (высота 10 м, диаметр 2,5 м). Процесс окисления длится в среднем 18 ч. Рассчитайте производительность колонны окисления парафина.

**Задача** **1.3**

Необходимо определить плотность этилена при 150 МПа и 180 оС, пользуясь диаграммой коэффициента сжимаемости. Критические параметры для этилена равны 282,4 К и 5,03 МПа.

**Задача** **1.4**

Рассчитайте теплоту, выделяющуюся при образовании 100 кг метанола из СО и Н2. Энтальпия образования (в кДж/кмоль) составляет: СО – 110583; Н2 – 0; метанола – 201456.

**Глава** **2.** **Получение** **полиолефинов** **в** **промышленности**

В мировой и отечественной промышленной практике полиолефины занимают первое место по объему производства и потребления среди других полимеров. Мировое производство их уже в 1974 г. превысило 13 млн.т.

К полиолефинам относятся полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, их сополимеры, а также сополимеры некоторых других α-олефинов. Бесспорными лидерами среди полиолефинов в настоящее время являются полиэтилен и полипропилен.

Самым дешевым из полиолефинов является полиэтилен высокого давления (ПЭВД) (полиэтилен низкой плотности – ПЭНП). Доля его в общем объеме производства полиолефинов составляет 75–78 %. ПЭВД применяют в основном (75–80 %) в производстве пленок (для укрытия теплиц, парников, для упаковки изделий легкой и пищевой промышленности и др.), в качестве электроизоляционных покрытий в электротехнической промышленности, в производстве литьевых и выдувных изделий для различных отраслей народного хозяйства, товаров широкого потребления (хозтовары, игрушки, канцтовары и др.), труб.

Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) обладает более высокими физико-механическими свойствами, чем полиэтилен низкой плотности. Получают ПЭВП при среднем и низком давлении, поэтому называют еще ПЭСД и ПЭНД, соответственно. ПЭВП пригоден для изготовления изделий повышенной прочности в радиотехнической, химической, электротехнической промышленности, строительной технике, изделий бытового назначения, в производстве труб для строительства и мелиорации, а также для изготовления крупногабаритных, прочных, стойких к удару и растрескиванию изделий (бочек, ящиков, емкостей), стабилизированной упаковочной пленки, моноволокна и листов.

Полипропилен (ПП) сопоставим по прочности с ПЭВП, но превосходит его по теплостойкости. Однако ПП уступает полиэтилену по морозостойкости и стойкости к старению.

Сополимеры этилена с пропиленом (СЭП) сочетают достоинства ПЭ и ПП и особенно ценятся за свою способность противостоять ударным нагрузкам и растрескиванию. Широкие возможности открываются при модификации свойств полиолефинов физическими и химическими методами.

В ближайшей перспективе полиолефины останутся самыми востребованными полимерами, т.к. обладают ценным комплексом свойств. Они безвредны, нетоксичны, химически и водостойки, одни из совершеннейших диэлектриков, легко перерабатываются в изделия высокопроизводительными методами, дешевы. Наряду с общими полезными качествами среди полиолефинов всегда можно выбрать материал с предпочтительным комплексом эксплуатационных свойств в зависимости от области назначения (например, более эластично- и морозостойкий ПЭВД – для пленок и гибких труб; более теплостойкий и прочный ПП – для медицинских шприцев или волокон; эластичный, морозоустойчивый, трещиноустойчивый и стойкий к удару СЭП – для получения эластичных изделий и т.п.).

**2.1.** **Примеры** **и** **задачи** **к** **главе** **2**

**Пример** **2.1**

Производительность трубчатого реактора полимеризации этилена при 170 МПа равна 6000 кг полиэтилена в час. Реактор представляет собой трубу диаметром 60 мм и имеет длину 1000 м. Определить объемную скорость подачи этилена (при указанном давлении и средней температуре газа 190 оС), если степень превращения этилена равна 12,5 %.

***Решение***

1. Определяем массовый расход этилена:



2. Определяем объемный расход этилена при 190 оС и 170 МПа, исходя из



того, что и что 1 моль любого газа при нормальных условиях

(*Т*1=273,15 К, *Р*1=0,101325 МПа) занимает объем 22,41383 л.



3. Определяем объем реактора:



4. Определяем объемную скорость подачи этилена в реактор:

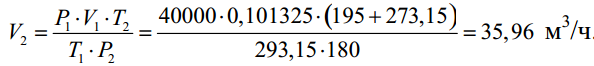


**Пример** **2.2**

Этилен, сжатый до 180 МПа, поступает в трубчатый реактор полимеризации с объемной скоростью подачи 12 ч–1. Объемный расход этилена, измеренный до его компримирования равен 40000 м3/ч, степень конверсии этилена 13 %. Средняя температура газа в реакторе 195 оС. Определить производительность по полиэтилену в расчете на 1 м3 реактора.

***Решение***

1. Определяем объемный расход этилена при рабочих условиях:



1. Определяем объем реактора:



3. Определяем массовый расход этилена:



4. Определяем производительность реактора по полиэтилену:



5. Определяем производительность по полиэтилену с 1 м3 реактора:



**Пример** **2.3**

Объемный расход этилена на установке полимеризации, измеренный до компримирования, равен 42000 м3/ч. Газ поступает в трубчатый реактор при 180 МПа, средняя температура в реакторе 190 оС. Определить время пребывания газовой смеси в реакторе объемом 3,6 м3.

***Решение***

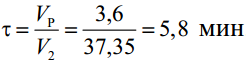
1. Определяем объемный расход этилена при рабочих условиях:



1. Определяем объемную скорость подачи этилена:



3. Определяем время пребывания реакционной массы в реакторе:



**Пример** **2.4**

Производительность установки полимеризации этилена 5,8 т полиэтилена в час при степени конверсии этилена 13 %. Исходный этилен сжимают до 165 МПа, средняя температура газа в реакторе 190 оС. Определить линейную скорость газовой смеси в трубчатом реакторе диаметром 32 мм.

***Решение***

1. Определяем массовый расход этилена:

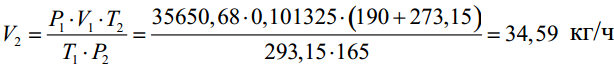


2. Определяем объемный расход этилена при нормальных

условиях:



3. Определяем объемный расход этилена при рабочих условиях:





1 1

*V*   34,59

кг/ч.

1 2

1. Определяем живое сечение реактора:



1. Определяем линейную скорость этилена в реакторе:



**Пример** **2.5**

Степень конверсии этилена в автоклавном реакторе 26 %. Объемный расход этилена при 200 МПа и 190 оС равен 15,5 м3/ч. Определить производительность реактора по полиэтилену в расчете на 1 м3 реакционного объема, если время пребывания этилена в реакторе 2 мин.

***Решение***

1. Определяем массовый расход этилена:



2. Определяем объем реактора:



3. Определяем массовый расход полиэтилена:



4. Определяем производительность по полиэтилену с 1 м3 реактора:



**Пример** **2.6**

Производительность автоклавного реактора полимеризации этилена 5500 кг полиэтилена в час. Процесс ведут при 190 МПа и 200 оС до степени полимеризации этилена 24,5 %. Определить объем реактора, если время пребывания в нем этилена 2 мин.

***Решение***

1. Определяем массовый расход этилена:



2. Определяем объемный расход этилена:



3. Определяем объем реактора:



**Пример** **2.7**

Производительность автоклавного реактора полимеризации этилена 5250 кг полиэтилена в час. В реакторе поддерживают температуру 210 оС. Этилен подают при 180 МПа с объемной скоростью 30 ч-1. Определить диаметр и высоту реакционной зоны, если их соотношение равно 1:15, а степень конверсии этилена 25 %.

***Решение***

1. Определяем массовый расход этилена:



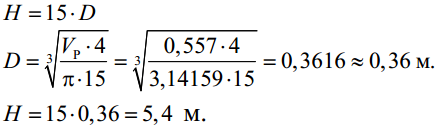
2. Определяем объемный расход этилена:



3. Определяем объем реактора:



1. Определяем диаметр и высоту реактора:



**Пример** **2.8**

Составить материальный баланс установки производства полиэтилена под высоким давлением.

Исходные данные:

1. производительность по полиэтилену – 100000 т/год;

2. число часов работы установки в году – 7500;

3. потери этилена в расчете на свежий этилен, % (масса): а) на компрессии 1 каскада П1 = 0,5;

б) на компрессии II каскада П2 = 4,5;

в) при обработке и других операциях П3 = 0,1;

4. концентрация этилена в техническом этилене х = 0,999;

5. концентрация кислорода = 0,005% (об); 2

6. конверсия этилена 0,18;

7. концентрация этилена в циркулирующем газе *х*ц = 0,978.

***Решение***

1. Определяем производительность по полиэтилену:



2. Определяем суммарные потери этилена:



3. Рассчитаем потоки, поступающие на компрессию 1 каскада (в соответствии с нижеприведенной блок-схемой и исходными данными).

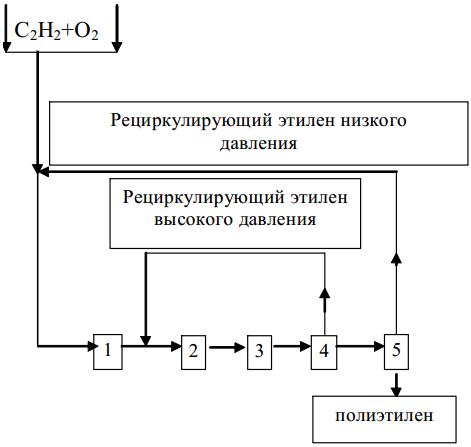


Рисунок 2.5 - Блок-схема полимеризации этилена под высоким давлением:

1 – блок компрессии этилена I каскада; 2 – блок компрессии этилена II каскада; 3 – реактор; 4 – сепаратор высокого давления; 5 – сепаратор низкого давления

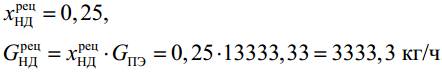
а) Определяем расход свежего этилена с учетом потерь:



б) Определяем количество инертных примесей в свежем этилене



в) Количество рециркулирующего этилена низкого давления (кг/ч) составляет приблизительно 25 % от количества получаемого полиэтилена:



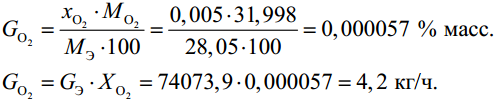
Количество рециркулирующего этилена низкого давления можно рассчитать более точно путем определения доли отгона в сепараторе низкого давления.

г) Определяем расход этилена в реакторе:



где *K* – конверсия этилена (18%).

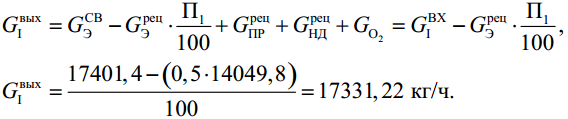
д) Определяем расход кислорода:



е) Поступает на компрессию 1 каскада:



4. Выход после компрессии 1 каскада:



Общее количество 100 %-го этилена, поступающего в реактор из компрессора II каскада – *G*Э.

5. Поступает на компрессию II каскада:

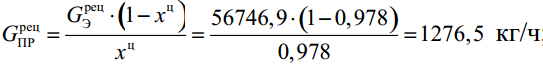
а) из компрессора 1 каскада:



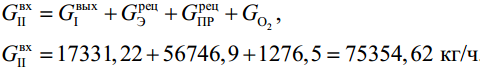
б) рециркулирующего этилена высокого давления:



в) рециркулирующих инертных примесей:



г) всего поступает на компрессию II каскада:



6. Определяем выход после полимеризации и дросселирования:

а) выход полиэтилена:



б) рециркулирующего этилена низкого давления:



в) потери этилена в системе высокого давления:



г) потери инертных примесей в системе высокого давления:



д) рециркулирующего этилена высокого давления:



е) рециркулирующих инертных примесей:

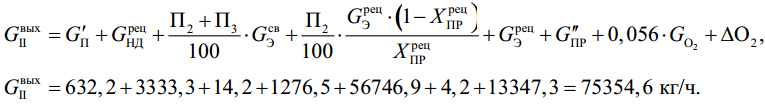


ж) неучтенный кислород – 4,2 кг/ч;

з) формальдегид – 0,0556· ;

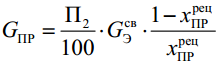
O

всего на выходе получим:



Свежий этилен, поступающий на полимеризацию, содержит незначительное количество инертных примесей (не более 0,1 %). Однако в процессе рециркуляции непрореагировавшего этилена примеси неизбежно будут накапливаться, поэтому их необходимо выводить из системы. Это происходит естественным путем за счет потерь рециркулирующего этилена в системе высокого давления через неплотности оборудования.

При правильном составлении материального баланса должно соблюдаться правило:



Приведенный выше суммарный материальный баланс сошелся, так как количества инертных примесей, поступающих со свежим этиленом и теряющихся в системе высокого давления, равны друг другу. Следовательно, концентрация инертных примесей в рециркулирующем этилене выбрана правильно.

Далее можно составить материальный баланс процесса по стадиям и суммарный материальный баланс установки в виде табл. 2.5.

Таблица 2.5 - Материальный баланс компрессии 1 каскада

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приход | кг/час | Расход | кг/час |
| 1. Свежий этилен:  а) этилен  б) инертные примеси в свежем этилене  2. Кислород  3. Рециркулирующий этилен низкого давления | 14049,8 14035,7  14,1 4,2  3333,3 | 1. Сжатый газ на компрессию II каскада  2. Потери этилена | 17331,2  70,2 |
| **Всего** | 17401,4 | **Всего** | 17401,4 |

**Пример** **2.9**

В каскад автоклавных реакторов полимеризации этилена при среднем давлении подают 8000 м3 этилена в час. В качестве растворителя используют бензин. На снятие выделяющейся теплоты расходуют 90 % этилена и 35 % бензина. Определить массовый расход бензина, если массовая доля полиэтилена в растворе, выходящем из каскада реакторов, равна 20 %.

***Решение***

1. Определяем массовый расход этилена:



2. Определяем количество образовавшегося полиэтилена:

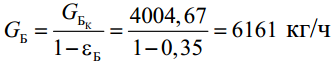


3. Определяем массовый расход бензина на выходе из реактора:

ПЭ



4. Определяем полный расход бензина на входе в реактор:



**Пример** **2.10**

В каскад автоклавных реакторов полимеризации этилена при среднем давлении подают 8200 м3 этилена в час и 6250 кг бензина (растворитель). Часть бензина (30 %) расходуется на снятие выделяющейся теплоты. Определить степень конверсии этилена, если массовая доля полиэтилена в растворе, выходящем из каскада реакторов, равна 18 %.

***Решение***

1. Определяем массовый расход бензина на выходе из каскада реакторов:



2. Определяем расход полиэтилена на выходе из каскада реакторов:



3. Определяем массовый расход этилена на входе в каскад реакторов:



4. Определяем степень конверсии этилена:



**Пример** **2.11**

Производительность установки полимеризации этилена при низком давлении равна 5000 кг полиэтилена в час. Определить объемный расход этилена и полезный реакционный объем, если степень конверсии этилена равна 98 %, массовая концентрация полимера в суспензии, выходящей из реактора, 80 кг/м3, а время пребывания реакционной массы в реакторе 6 ч.

***Решение***

1. Определяем массовый расход этилена:



2. Определяем объемный расход этилена:



3. Определяем полезный объем реактора:

80



**Пример** **2.12**

Составить материальный баланс реактора полимеризации этилена под низким давлением.

Исходные данные:

1. производительность по полиэтилену 24000 т/год ( );

2) число часов работы реактора в году 7200 (τэф);

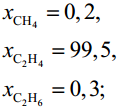
3) суммарные потери этилена и полиэтилена в процессе полимеризации:

П1 = 1,5 % масс;

4) потери этилена на образование низкомолекулярного полиэтилена:

П2 = 2 % масс.;

5). состав свежего этилена, % масс.:



6) содержание этилена в циркулирующем этилене у = 0,98;

7) расход катализаторов: триэтилаллюминия (ТЭА) *а*ТЭА = 0,4; тетрахлоридтитаната (TiCl4) *а*TiCl4 = 0,6;

8) в реактор подается 1%-й раствор катализатора в бензине;

9) концентрация полиэтилена в катализаторной пульпе *с*П = 130 кг/м3 бензина;

10) бензин – растворитель, плотность бензина = 0,7;

11) давление в реакторе *Р*Р = 0,35 МПа.

Полимеризацию этилена приводят в растворе бензина. Часть этилена, не вступившего в реакцию, рециркулирует с целью отвода тепла. В связи с этим инертные примеси, поступающие с этиленом, удаляют с отдуваемым циркулирующим газом.

***Решение***

1. Определяем расход полиэтилена:



2. Определяем расход полиэтилена с учетом потерь:



1. Определяем потери полиэтилена:



4. Определяем количество низкомолекулярного полиэтилена:

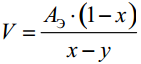


5. Определяем расход 100%-го этилена на реакцию:



1. Определяем количество отдуваемых газов.

Количество отдуваемого газа находим из газового баланса. Поскольку давление в системе низкое, количеством растворенного циркулирующего этилена пренебрегаем:



Размерность *А* и *V* может быть кг/ч, кмоль/ч или м3/ч, соответственно, для расчета следует использовать *х* и *у*, выраженные в массовых или мольных долях.



1. Определяем количество отдуваемого 100 %-го этилена:



8. Определяем количество отдуваемых примесей:



9. Определяем количество поступающего свежего этилена:



10. Определяем количество поступающего 100 %-го этилена:



11. Определяем количество поступающих примесей:



т. е. примеси, поступающие с этиленом, равны отдуваемым примесям.

12. Определяем объемный расход бензина:



13. Определяем массовый расход бензина:



14. Определяем расход TiCl4:



15. Определяем расход ТЭА:



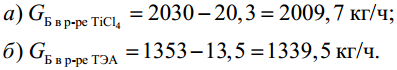
16. Определяем количество раствора TiCl4:



17. Определяем количество раствора ТЭА:



18. Определяем количество бензина на приготовление катализаторных растворов:



19. Определяем, сколько всего бензина в катализаторном растворе:



20. Составляем материальный баланс процесса получения ПЭВП (табл. 2.6).

Таблица 2.6 - Материальный баланс процесса получения ПЭВП

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приход | Кг/ч | Расход | Кг/ч |
| **1.** Этилен свежий, в т.ч.:  а) этилен 100 %-й  б) инертные примеси  **2.** Раствор TiCl4, в т.ч.:  а) TiCl4  б) бензин  **3.** Раствор ТЭА, в т.ч.:  а) ТЭА  б) бензин  **4.** Бензин (растворитель) | 4600,0 4577,0 23,0  2030  20,3 2009,7 1353  13,5 1339,5 18217,8 | **1.** Суспензия полиэтилена, в т.ч.:  а) полиэтилен  б) низкомолекулярный полиэтилен в) бензин  г) катализаторный комплекс (TiCl4 + ТЭА)  **2.** Сдувка, в т.ч.:  а) этилен  б) примеси  **3.** Потери | 25000,8 3333,3 66,7 21567,0  33,8  1150  127,0  23,0  50,0 |
| **Всего** | 26200,8 | **Всего** | 26200,8 |

**Пример** **2.13**

Производительность реактора полимеризации этилена при низком давлении 15 кг полиэтилена в час с 1 м3 реакционного объема.

Определить массовый расход бензина на снятие выделяющейся теплоты, если объем реактора 80 м3, количество выделяющейся теплоты 3600 кДж на 1 кг полиэтилена, а теплота испарения растворителя 380 кДж/кг.

***Решение***

1. Определяем производительность реактора по полиэтилену:



2. Определяем выделившееся количество теплоты:



1. Определяем количество испарившегося бензина:

Б



**Пример** **2.14**

Производительность установки полимеризации пропилена равна 2500 кг полипропилена в час. Определить массовый расход жидкой пропан-пропиленовой фракции с массовой долей пропана 40 %. Степень конверсии пропилена 98 %.

***Решение***

1. Определяем массовый расход пропилена:



1. Определяем массовый расход пропан-пропиленовой фракции:



**Пример** **2.15**

В ленточный полимеризатор подают в час 50000 кг раствора изобутена в этилене с массовой долей изобутилена 20 %. Степень конверсии изобутилена 100 %. Определить в каком избытке (к требуемому для снятия выделяющейся теплоты) расходуется этилен, если тепловой эффект полимеризации изобутилена 53 кДж/моль, а теплота испарения этилена 13,4 кДж/моль.

***Решение***

1. Определяем массовый расход изобутилена:



1. Определяем теплоту полимеризации изобутилена:



3. Определяем массовый расход этилена:



4. Определяем количество этилена для снятия тепла реакции:



1. Определяем избыток этилена:



**Пример** **2.16**

В ленточный полимеризатор подают в час 60000 кг раствора изобутена в этилене с массовой долей изобутена в растворе 18 %. Ширина слоя полимера, снимаемого со стальной ленты полимеризатора – 0,4 м, толщина слоя – 2 см. Определить скорость движения ленты, если плотность полимера равна 910 кг/м3.

***Решение***

1. Определяем массовый расход изобутилена:



2. Определяем объемный расход полиизобутилена:



3. Определяем живое сечение ленточного реактора:



1. Определяем скорость движения ленты:



**Пример** **2.17**

Скорость движения стальной ленты в полимеризаторе 30 м/мин, а слой полиизобутилена, снимаемый с ленты, имеет ширину 0,45 м и толщину 2,5 см. Определить массовый расход изобутена и этилена, если их массовое соотношение в смеси, подаваемой на полимеризацию, равно 1:5. Плотность полимера 910 кг/м3, степень конверсии изобутена 100 %.

***Решение***

1. Определяем живое сечение ленточного реактора:



2. Определяем объемный расход полиизобутилена:



3. Определяем массовый расход полиизобутилена:



4. Определяем массовый расход этилена:



**Задача** **2.1**

На установку полимеризации подают в час 4100 кг пропан-пропиленовой фракции с массовой долей пропилена 58 %. Степень конверсии пропилена 97 %. Выделяющуюся теплоту полимеризации (1395 кДж/кг полипропилена) снимают за счет испарения пропилена и части растворителя. Рассчитать количество растворителя, расходуемое на снятие выделяющейся теплоты, если теплота испарения пропана равна 11,4 кДж/моль, а теплота испарения растворителя равна 380 кДж/кг.

**Задача** **2.2**

Рассчитать массовый расход пропилена, гептана, водорода и катализаторного комплекса на выпуск 100000 т/год полипропилена. Установка работает 330 дней в непрерывном режиме. Конверсия пропилена 98 %. Подача водорода 3 % об. от подаваемого пропилена, гептан взят в объемном соотношении пропилен:гептан – 1,5:1, а микросферический катализатор из расчета 0,15 - 0,2 кг/м3.

**Задача** **2.3**

Определить массовый расход этилена, пропана и кислорода для производства ПЭВД на установке с производительностью по полиэтилену – 75000 т/год в трубчатом реакторе, работающем по трехзонному варианту. Принять эффективное время работы установки равным 7800 ч. При решении задачи руководствоваться данными о составе потоков, представленных в табл. 2.3, и схемой материальных потоков на рис. 2.4.

**Задача** **2.4**

Используя условия задачи 2.3, рассчитать массовый расход реагентов в каждую из зон реактора и объемный расход реагентов в рабочих условиях.

**Задача** **2.5**

Используя условия задачи 2.3, рассчитать расход перегретой воды для снятия теплоты, выделяющейся при полимеризации в каждой из трех зон.

**Список** **рекомендуемых источников**

*Основная*

1. Гутник С.П., Кадоркина Г.Л., Сосонко В.Е. Примеры и задачи по технологии органического синтеза. [Текст] – М.: Химия, 1984. – 192 с.

2. Вацулик П. Химия мономеров. [Текст] Т.1. – М.: ИИЛ, 1960. – 738 с.

3. Кирпичников П.А., Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О. Химия и технология синтетического каучука. [Текст] – Л.: Химия, 1975. – 480 с.

4. Розенберг М.Э. Полимеры на основе винилацетата. [Текст] – Л.: Химия, 1983. – 176 с.

5. Малкин А.Я., Вольфсон С.А., Кулезнев В.Н., Файдель Г.И. Полистирол. [Текст] – М.: Химия, 1975. – 288 с.

6. Хрулев М.В. Поливинилхлорид. [Текст] – М.; Л.: Химия, 1964. – 264 с. 7. Краткий справочник физико-химических веществ / Под ред. Мищенко К.П. и Равделя А.А. [Текст] – П.: Химия, 1983. – 232 с.

8. Цибровский Я. Основы процессов химической технологии. [Текст] – Л.: Химия, 1967. – 207 с.

9. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / 9-е изд., перераб. и доп. [Текст] – Л.: Химия, 1981. – 560 с.

10. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. [Текст] – Л.: Химия, 1982. – 592 с.

11. Технология пластических масс. / Под ред. В.В. Коршака [Текст] – М.: Химия, 1985. – 560 с.

12. Николаев А.Ф. Технология пластических масс. [Текст] – Л.: Химия, 1977. – 368 с.

13. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. [Текст] – М.; Л.: Химия, 1966. – 768 с.

14. Получение и свойства поливинилхлорида. / Под ред. Е.Н. Зильбермана. [Текст] – М.: Химия, 1968. – 432 с.

15. Фигуровская Н.П., Журавлева Л.М., Чемерисова А.М., Смирнов Н.Н., Константинов В.А. Ионообменные процессы. Теоретические основы, расчет и аппаратурное оформление. Учебное пособие. [Текст] – Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1981. – 88 с.

16. Патон Т.К. Технология алкидных смол. Составление рецептур и расчеты. [Текст] – М.: Химия, 1970. – 128 с.

17. Марек О., Томка М. Акриловые полимеры. [Текст] – М.; Л.: Химия, 1966. – 320 с.

18. Голосов А.П., Динцес А.И. Технология производства полиэтилена и полипропилена. [Текст] – М.: Химия, 1978. – 216 с.

19. Веселовская Е.В., Серова Н.Н., Дунтов Ф.И., Голосов А.П. Сополимеры этилена. [Текст] – Л.: Химия, 1983. – 224 с.

20. Сирота А.Г. Модификация структуры и свойств полиолефинов. [Текст] – Л.: Химия, 1984. – 152 с.

21. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. [Текст] – М.: Химия, 1972. – 720 с.

22. Романков П.Г., Курочкина И.И. Примеры и задачи по курсу «Процессы и аппараты химической промышленности». [Текст] – Л.: Химия, 1984. – 230 с.

23. Физические величины. Справочник. / Под ред. Григорьева И.С. [Текст] – М.: Энергоатомиздат, 1991.

*Дополнительная*

24. Волошин Н.А., Шестак Н.П. Технология производства полипропилена: Учебное пособие для рабочих профессий. [Текст] – М.: НИИТЭХим, 1981. – 83 с.

25. Иванюков Д.В., Фридман М.Л. Полипропилен. [Текст] – М.: Химия, 1974. – 327 с.

26. Гюттенберг Г. Полиизобутилен. [Текст] – Л.: ГНТИ, 1962. – 352 с.

27. Липатов Ю.С. Теплофизические и реологические характеристики полимеров. Справочник. [Текст] – Киев: Наукова Думка, 1977. – 244 с.

28. Бахман А., Мюллер К. Фенопласты. [Текст] – М.: Химия, 1978. – 288 с. 29. Кноп А., Шейб В. Фенольные смолы и материалы на их основе. – М.: Химия, 1983. – 280 с.

30. Петров Г.С., Левин А.Н. Термореактивные смолы и пластические массы. [Текст] – М.: ГХП, 1959. – 310 с.

31. Крыжановский В.К., Бурлов В.В. Прикладная физика полимерных материалов. [Текст] – СПб.: Изд-во СПб ГТИ (ТУ), 2001. – 262 с.

32. Справочник химика. [Текст] – Т. 3. – М.: ГХНИ, 1952. – 1027 с.

33. Клаузнер Г.М. Опыт разработки и внедрения прогрессивных резорциновых смол. [Текст] – Тюмень: Тюменское областное правление Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, 1982. – 65 с.

Учебное издание

*Методические указания по выполнению контрольных работ*

Составитель

ГУРОВ Юрий Петрович

*В авторской редакции*

Подписано в печать \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_. Формат 60х90 1/16. Печ. л. 2,2.

Тираж 45 экз. Заказ № \_\_\_\_\_\_\_.

Библиотечно-издательский комплекс

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Тюменский индустриальный университет».

625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса

625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.