

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРА-
ЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИ-
ТЕТ
КАФЕДРА «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ
ПРОИЗВОДСТВ»

А. А. Шагарова, Л. А. Ильина, С. А. Трусков

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ
ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ
РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИМПУЛЬСА И ЭНЕР-
ГИИ
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»**



Волгоград
2017

Рецензент:

канд. хим. наук, доцент *В. А. Козловцев*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Методические указания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Явления переноса импульса и энергии в химической технологии»: метод. указания / сост. А. А. Шагарова, Л. А. Ильина, С. А. Трусков. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2017. – 16 с.

В методических указаниях рассматриваются наиболее апробированные методы расчета физических свойств жидких смесей, используемые при расчете гидродинамических, тепло- и массообменных процессов в химической технологии, а также определение диаметра штуцеров и гидравлического сопротивления подводящих трубопроводов технологического аппарата, в котором осуществляется процесс перегонки жидких смесей.

Методические указания содержат набор индивидуальных вариантов заданий для выполнения студентами контрольной работы.

Предназначены для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

© Волгоградский государственный
технический университет, 2017

Составители:

Анжелика Анатольевна **Шагарова**
Людмила Александровна **Ильина**
Станислав Александрович **Трусков**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИМПУЛЬСА И ЭНЕРГИИ
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»**

Темплан 2017 г. (учебно-методическая литература). Поз. № ____.

Подписано в печать _____. 2017 г. Формат 60×84 1/16. Бумага газетная.

Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 10 экз. Заказ _____.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28 корп.1.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 7.

Содержание

Введение.....	4
1. Состав и основные физические свойства жидкостей.....	5
2. Задание на контрольную работу.....	9
3. Методика расчёта контрольной работы.....	9
4. Индивидуальные варианты заданий на контрольную работу..	14
5. Вопросы для самопроверки	
Список рекомендуемой литературы для самостоятельного изучения.....	16

Введение

В ходе технологических расчётов процессов и аппаратов химической технологии требуется знание физических свойств веществ.

В справочной литературе обычно приводятся данные по физическим свойствам чистых веществ. В практике широко используются многочисленные растворы, состоящие из двух и более хорошо растворимых друг в друге жидкостей. В связи с этим возникает проблема аналитического расчёта численных значений физических свойств соединений, состоящих из нескольких компонентов и учёта влияния параметров процесса на свойства веществ.

Наиболее простыми являются смеси (растворы), состоящие из двух жидкостей – бинарные смеси. Закономерности, найденные для таких смесей, можно использовать и для более сложных.

В методических указаниях приведён ряд методов расчёта основных физических свойств жидких и паровых смесей. С его помощью студенты могут освоить методологию расчёта, выработать навыки работы со справочной технической литературой.

Целью контрольной работы по дисциплине «Явления переноса импульса и энергии в химической технологии» является расчёт основных физических свойств жидких и паровых смесей, используемые при расчете гидродинамических, тепло- и массообменных процессов в химической технологии, а также гидравлического сопротивления подводящих трубопроводов и диаметра технологического аппарата, в котором осуществляется процесс перегонки жидких смесей.

Настоящие методические указания предназначены для студентов очной очно-заочной, и заочной форм обучения по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» при выполнении контрольной работы по дисциплине «Явления переноса импульса и энергии в химической технологии» и призваны помочь студентам в приобретении ими нужных навыков проведения технологических расчётов, связанных с определением физических свойств жидких и паровых смесей.

Рекомендуется для практических занятий и выполнения расчётно-графических работ.

1. Состав и основные физические свойства жидкостей

В процессах химической технологии, как и во многих процессах, происходящих в природе или в техническом оборудовании смежных с химической отраслей промышленности, имеет место перемещение текучих сред. Основное свойство текучих сред – это способность перемещаться под действием разности давлений. В гидромеханике все текучие вещества принято называть *жидкостями* [1,2].

Различают два вида жидкостей (рис.1): несжимаемые, т.е не изменяющие свою плотность ($\rho = \text{const}$) и сжимаемые.



Рис.1 – Виды жидкостей

В отличие от капельных жидкостей, сжимаемость которых практически не изменяется при изменении давления, газы легко изменяют объем под действием внешних сил, сжимаются, поэтому их называют сжимаемыми.

Любая капельная жидкость может переходить в газообразное состояние при определенной температуре и давлении. Соответственно, газы при понижении температуры и повышении давления могут переходить в жидкое состояние.

К основным физическим свойствам жидкости относятся: плотность, удельный вес, сжимаемость, температурное расширение, поверхностное натяжение, вязкость [1,2].

Плотность – масса жидкости m , заключенная в единице объема V , кг/м³:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Плотность меняется при изменении температуры и давления.

В расчетах часто используют понятие относительной плотности вещества, которая представляет собой отношение плотности исследуемого вещества к плотности эталонного вещества. В качестве эталонной жидкости чаще всего используют дистиллированную воду, плотность которой можно принять равной 1000 кг/м³.

Удельный вес – вес жидкости G в единице объема V :

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2)$$

Плотность и удельный вес связаны между собой соотношением:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (3)$$

Зависимость плотности газов от давления и температуры устанавливается уравнением состояния.

В технических расчетах плотность газа, приводят к нормальным физическим условиям ($t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p_0 = 101325\text{ Па}$) или стандартным условиям ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p_0 = 101325\text{ Па}$).

При нормальных условиях плотность воздуха $\rho_0 = 1,293\text{ кг/м}^3$.

При других условиях плотность газов или паров можно определить по формуле:

$$\rho = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{273}{273+t} = \rho_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{273}{273+t}, \quad (4)$$

где M – молярная масса газа или смеси газов (паров), кг/кмоль;

ρ_0 – плотность газа (пара) при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м³;

P_0 – абсолютное давление газа (пара) при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, Па;

P – абсолютное рабочее давление газа (пара) (т. е. давление при его рабочей температуре), Па;

Температурное расширение – увеличение объема капельных жидкостей, при увеличении температуры, характеризуется коэффициентом температурного расширения, выражающим относительное увеличение объема жидкости при увеличении температуры на 1 град.

$$\beta_t = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (5)$$

где ΔV – изменение объема при повышении температуры на величину Δt .

Если считать, что плотность не меняется при изменении давления, а зависит только от температуры, то для расчета изменения плотности капельных жидкостей с изменением температуры можно использовать формулу:

$$\rho = \rho_0 \frac{1}{1 + \beta_t(t - t_0)}, \quad (6)$$

где ρ_0 – плотность при известной температуре t_0 .

Поверхностное натяжение

Молекулы жидкости, находящиеся у поверхности контакта с другой жидкостью, газом или твердым телом имеют другую энергию, чем молекулы, находящиеся внутри объема жидкости. Эта энергия пропорциональна площади поверхности раздела S и характеризуется величиной **коэффициента поверхностного натяжения** σ , который зависит от материала соприкасающихся сред, чистоты поверхности и температуры.

На поверхности раздела трех фаз (рис. 2): твердой стенки, жидкости и газа образуется краевой угол θ . Величина угла зависит только от природы соприкасающихся сред, и не зависит от формы сосуда и силы тяжести. Чем хуже смачивающая способность, тем больше краевой угол. От явления смачивания зависит поведение жидкости в тонких (капиллярных) трубках, погруженных в жидкость. При плохом смачивании жидкость в трубке под-

нимается над уровнем свободной поверхности, при хорошем – опускается.

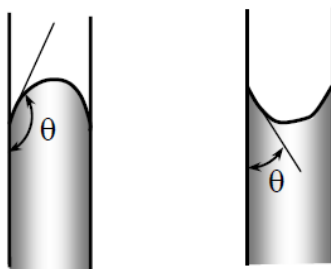


Рис. 2 - Капиллярные явления

Влияние сил поверхностного натяжения приходится учитывать при работе с жидкостными приборами для измерения давления, при истечении жидкости из малых отверстий, при фильтрации, в других случаях, когда силы, действующие в жидкости меньше сил капиллярного натяжения.

Вязкость – свойство жидкостей оказывать сопротивление сдвигу соседних слоев при движении жидкости. Все реальные жидкости обладают вязкостью, которая проявляется в виде внутреннего трения при относительном перемещении смежных частей жидкости.

Согласно гипотезе Ньютона, касательное напряжение, возникающее при движении жидкости пропорционально скорости деформации объема жидкости:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}, \quad (7)$$

где μ – коэффициент пропорциональности или динамический коэффициент вязкости, Па·с.

Вязкость капельных жидкостей с увеличением температуры уменьшается, а газов увеличивается. Это связано с различным молекулярным строением жидкостей и газов. Для определения вязкости при различных температурах используются эмпирические формулы, значения вязкости для различных жидкостей приводятся в справочниках.

Изменение динамического коэффициента газов (паров) с температурой выражается формулой:

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{T + C} \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2}, \quad (8)$$

где μ_0 – динамический коэффициент вязкости при 0 °С, Па·с;

T – температура, К;

C – постоянная Сатерленда, (табл. V, [3]).

Наряду с понятием динамической вязкости в гидродинамике применяется кинематическая вязкость ν (м²/с), которая представляет собой отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (9)$$

Вязкость капельных жидкостей мало зависит от давления в диапазоне до 200 атм. Кинематическая вязкость газов (паров) зависит и от давления, и от температуры.

Давление насыщенного пара жидкостей и его зависимость от температуры.

Давление насыщенного пара жидкости с повышением температуры увеличивается, и как только оно станет равным атмосферному, жидкость закипает. При одинаковом внешнем давлении жидкости закипают при различной температуре, так как имеют неодинаковое давление насыщенного пара. Если изменить внешнее давление, то температура кипения жидкости будет изменяться. С повышением внешнего давления температура кипения увеличивается, а с понижением (вакуум) – уменьшается. Давление насыщенного пара является характерной величиной для жидкости при данной температуре и приводится в справочной литературе [4-7].

В практике широко используются многочисленные растворы, состоящие из двух и более хорошо растворимых друг в друге жидкостей. Наиболее простыми являются смеси (растворы), состоящие из двух жидкостей – бинарные смеси. Закономерности, найденные для таких смесей, можно использовать и для более сложных.

В отличие от чистых веществ, смеси имеют непостоянный состав и свойства, а разделить их можно физическими методами, например, перегонкой.

Перегонка (иначе - дистилляция) - метод разделения жидких смесей, основанный на различии составов жидкости и образующегося из неё пара. Осуществляется перегонка путём испарения жидкости и отвода образующегося пара с последующей его конденсацией.

Способы выражения состава фаз двухкомпонентных систем жидкость – газ (пар) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Способы выражения составов фаз двухкомпонентных систем жидкость – газ (пар)

Концентрация		Обозначение концентрации компонента А	
наименование	размерность	в жидкой фазе	в паровой (газ.) фазе
Мольная доля	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } (A + B)}$	x	y
Массовая доля	$\frac{\text{кг } A}{\text{кг } (A + B)}$	x	$\bar{y}$
Относительно-мольная концентрация (доля)	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } B}$	X	Y
Относительно-массовая концентрация (доля)	$\frac{\text{кг } A}{\text{кг } B}$	$\bar{X}$	$\bar{Y}$
Объемно-мольная	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{м}^3 (A + B)}$	C_x	C_y
Объемно-массовая	$\frac{\text{кг } A}{\text{м}^3 (A + B)}$	$\bar{C}_x$	$\bar{C}_y$

2 Задание на контрольную работу

Произвести материальные расчеты процесса перегонки бинарной смеси в аппарате (схема аппарата изображена на рис. 2), если в аппарат поступает: G_1 , кг/час жидкости с концентрацией $\bar{x}_1$, % массовых; G_2 , кг/час второй жидкости с концентрацией $\bar{x}_2$, % массовых; выходит из аппарата: G_3 , кг/час жидкости с концентрацией $\bar{x}_3$, % массовых; G_4 , кг/час пара с концентрацией $\bar{y}_4$, % массовых. Длина материальных трубопроводов, l м; давление в аппарате P , МПа; рабочая скорость в аппарате v_p м/с. Рассчитать плотности смесей жидкостей 1, 2, 3 и пара, а также динамические вязкости соответственно. Рассчитать диаметры и гидравлическое сопротивление трубопроводов для материальных потоков 1-4. Определить диаметр аппарата. (Рассчитанные значения диаметров труб и аппарата принять ближайшие по нормам).

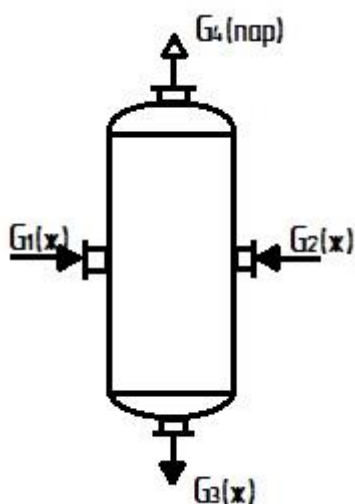


Рис. 3 – Схема аппарата

3. Методика расчёта контрольной работы

Составляется уравнение материального баланса:

$$\left. \begin{aligned} G_1 + G_2 &= G_3 + G_4 \\ G_1 \cdot \bar{x}_1 + G_2 \bar{x}_2 &= G_3 \bar{x}_3 + G_4 \bar{y}_4 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Совместным решением уравнений материального баланса (10) определяются материальные потоки G_3 , G_4 :

$$G_3 = \frac{(G_1 + G_2) \bar{y}_4 - (G_1 \cdot \bar{x}_1 + G_2 \bar{x}_2)}{\bar{y}_4 - \bar{x}_3};$$

$$G_4 = \frac{(G_1 \cdot \bar{x}_1 + G_2 \bar{x}_2) - (G_1 + G_2) \bar{x}_3}{\bar{y}_4 - \bar{x}_3}$$

По давлению Р в аппарате, пренебрегая содержанием легколетучего компонента в потоке G_3 , определяем температуру T_3 , °С рис. XIV [3, стр. 565]. Аналогично определяется температура T_4 , °С. Для температуры T_1 и T_2 предварительно можно положить:

$$T_1 = T_2 = 0,5(T_3 + T_4) \quad (11)$$

По температурам T_1 , T_2 и T_3 определяются плотности чистых компонентов жидкой смеси, табл. 14 [3, стр. 565]. Плотность смеси жидкостей, при смешении которых не происходит физико-химических превращений рассчитывается в соответствии с уравнением (12) [3, стр.12]. Для двухкомпонентной жидкости:

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{\bar{x}}{\rho_1} + \frac{1-\bar{x}}{\rho_2}, \quad (12)$$

где $\rho_{см}$ – плотность смеси жидкостей, кг/м³;

ρ_1, ρ_2 – плотности чистых компонентов жидкой смеси, кг/м³.

Плотности потоков жидких смесей $\rho_{см1}$, $\rho_{см2}$, $\rho_{см3}$ для заданных концентраций легколетучего компонента x_1 , x_2 и x_3 определяются по формуле (12).

По температурам T_1 , T_2 и T_3 определяется вязкость чистых компонентов смеси из рис. V [3, стр. 556].

Вязкость смеси нормальных (неассоциированных) жидкостей определяется в соответствии с уравнением (13) [3, стр.15]:

$$\lg \mu_{см} = x \cdot \lg \mu_1 + (1-x) \cdot \lg \mu_2, \quad (13)$$

где x – мольная доля легколетучего компонента в жидкой смеси;

μ_1, μ_2 – коэффициенты динамической вязкости чистых компонентов, Па·с.

Перевод массовых концентраций в мольные для потоков G_{1-4} осуществляется по формуле (14):

$$x = \frac{\frac{\bar{x}}{M_1}}{\frac{\bar{x}}{M_1} + \frac{1-\bar{x}}{M_2}}, \quad y = \frac{\frac{\bar{y}}{M_1}}{\frac{\bar{y}}{M_1} + \frac{1-\bar{y}}{M_2}} \quad (14)$$

где M_1, M_2 – молярные массы легколетучего и труднолетучего компонентов смеси, соответственно, кг/кмоль.

Вязкости потоков жидких смесей $\mu_{см1}$, $\mu_{см2}$, $\mu_{см3}$ для заданных концентраций легколетучего компонента x_1 , x_2 и x_3 определяются по формуле (13).

Примечание. Вязкость смеси неассоциированных жидкостей можно рассчитать в соответствии с уравнением (15) [3, стр.15]:

$$\frac{1}{\mu_{см}} = \frac{c}{\mu_1} + \frac{1-c}{\mu_2}, \quad (15)$$

где c – объемная доля компонента.

$$c = \frac{\frac{\bar{x}}{\rho_1}}{\frac{\bar{x}}{\rho_1} + \frac{1-\bar{x}}{\rho_2}} \quad (16)$$

Вязкость продукта G_4 , находящегося в парообразном состоянии, определяется при T_4 и y_4 (вязкость паров рекомендуется определить по справочнику Химика [5, стр. 1003]) или по справочнику Инженера – химика [6].

Динамический коэффициент вязкости потока G_4 , находящемся в парообразном состоянии может быть вычислен по приближенной формуле (17):

$$\frac{M_{см}}{\mu_{см}} = \frac{y_4 \cdot M_1}{\mu_1} + \frac{(1-y_4) \cdot M_2}{\mu_2}, \quad (17)$$

где $M_{см}$, M_1 , M_2 – мольные массы смеси газов (паров) и отдельных компонентов (легколетучего и труднолетучего), кг/кмоль;

$\mu_{см}$, μ_1 , μ_2 – соответствующие коэффициенты динамической вязкости паров, Па·с;

y_4 – объемная (мольная) доля легколетучего компонента в смеси.

Для вычисления $M_{см}$ для газов (паров) используется формула (18):

$$M_{см} = y_4 \cdot M_1 + (1-y_4) \cdot M_2 \quad (18)$$

Плотность продукта G_4 , определяется по формуле Менделеева - Клапейрона [3, стр.13] поскольку продукт G_4 находится в газообразном состоянии:

$$\rho = \frac{M_{см}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{273}{273+t}, \quad (19)$$

где $M_{см}$ – мольная масса смеси, кг/кмоль;

t – температура кипения легколетучего компонента, °С;

P – абсолютное давление в аппарате, Па;

P_0 – атмосферное давление, Па.

Диаметры трубопроводов при течении потоков G_1 , G_2 и G_3 , находящихся в жидком состоянии, рассчитываются по уравнению (20), в котором рабочие скорости выбираются в соответствии с таблицей 1.1 [3, стр. 17]:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot G_i}{\pi \cdot \rho_{см_i} \cdot v_i}}, \quad (20)$$

где $i=1,2,3$ – обозначение потоков жидкостей.

Для жидкостей, текущих в напорных трубопроводах принять $v_i = 1$ м/с.

Примечание. Расходы жидкостей G_i следует привести к размерности кг/с.

Действительные диаметры труб следует выбрать в соответствии с ГОСТом, например, для труб из коррозионно-стойкого материала 16х1,5; 20х2; 25х2(2,5); 32х2,5; 40х2,5(3); 50х3(3,5); 65х3,5; 80х3,5; 100х3,5; 125х4; 150х5; 200х5; (6); 250х5; 300х6 (где первая цифра наружный диа-

метр трубы, вторая – толщина стенки, а в скобках – возможная толщина стенки).

В соответствии с этим рядом труб выбираются диаметры трубопроводов d_1 , d_2 и d_3 .

Внутренний диаметр трубопровода:

$$d_{\text{в}} = d - 2 \cdot \delta,$$

где δ – толщина стенки.

Рабочие скорости в трубопроводах рассчитываются по формуле:

$$v_i = \frac{4 \cdot G_i}{\pi \cdot \rho_{\text{см}i} \cdot d_{\text{в}i}^2}. \quad (21)$$

Далее проводится проверка, лежат ли рабочие скорости жидкостей в допустимом диапазоне $0,5 \div 2$ м/с и окончательно принимаются диаметры трубопроводов.

Диаметр трубопроводов для продукта G_4 , находящегося в парообразном состоянии, определяется также по формуле (20) [3], предварительно задаваясь скоростью по таблице 1.1 [3, стр. 17] при атмосферном давлении $P_0 = 0,1013$ МПа: $v_4^0 = 15$ м/с. Если давление отличается от атмосферного производится пересчет скорости по формуле (22):

$$v_4 = v_4^0 \cdot \sqrt{\frac{P_0}{P}} \quad (22)$$

Тогда диаметр трубопровода для потока G_4 :

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_4}{\pi \cdot \rho_4 \cdot v_4}}. \quad (23)$$

В соответствии с ГОСТ выбирается диаметр трубопровода d_4 и уточняется значение скорости v_4 :

$$v_4 = \frac{4 \cdot G_4}{\pi \cdot \rho_4 \cdot d_{\text{в}4}^2}.$$

Гидравлическое сопротивление трубопроводов рассчитывается по уравнению (24) [3, стр. 25]:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \left(1 + \lambda \frac{l}{d_{\text{в}}} + \sum \xi \right) \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (24)$$

где λ – коэффициент трения, безразмерный (его значение в общем случае зависит от режима течения и шероховатости стенки трубы;

$\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных потерь в трубопроводе; принимается в интервале $\sum \xi = 2,5 \div 10$.

ε – относительная шероховатость, определяемая как отношение абсолютной шероховатости к внутреннему диаметру трубы: Δ/d ;

Средние значения абсолютной шероховатости стенок труб из различного материала приводятся в таблице XII [3, с.519].

Для стальных труб при незначительной коррозии можно принять $\Delta=0,2$ мм.

Значение коэффициента трения можно определить по формуле (25):

$$\lambda = 0,1 \left(\frac{100}{\text{Re}} + 1,43 \cdot \varepsilon \right)^{0,25} \quad (25)$$

Критерий Рейнольдса, характеризующий гидродинамический режим и являющийся мерой отношения сил инерции и внутреннего трения в потоке определяется по формуле (26):

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d_{\text{с}} \cdot \rho}{\mu} \quad (26)$$

Таким образом, определяются значения числа Re_i , коэффициента трения λ_i и гидравлического сопротивления Δp_i для потоков G_{1-4} .

Диаметр аппарата зависит от расхода паровой фазы и определяется из формулы:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G_4}{\pi \cdot \rho_4 \cdot v_p}},$$

где v_p - рабочая скорость в аппарате, м/с.

Полученная величина D округляется до ближайшего стандартного значения.

Нормальные ряды диаметров аппаратов, принятые в химической промышленности: 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0.

Все расчеты выполняются в соответствии с международной системой единиц измерения СИ. Оформление работы производится согласно СТП ВолгГТУ.

4. Индивидуальные варианты заданий на контрольную работу

Различные варианты заданий на контрольную работу приведены в таблице 3.

Таблица 3

Индивидуальные варианты задания для выполнения контрольной работы

Смесь	Вариант	G ₁ , кг/час	G ₂ , кг/час	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{y}_1$	t, м	Р, МПа	v _p , м/с
				% массовые						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Ацетон- вода	1	3500	4500	65	35	4	92	10	0,1	0,6
	2	3500	4500	40	35	7	92	10	0,1	
	3	3000	2500	65	35	4	92	10	0,15	05
	4	3000	2500	55	30	3	97	10	0,15	
	5	2000	4000	70	60	6	98	5	0,15	0,4
	6	2000	3800	60	50	5	95	5	0,15	
2. Этанол – вода	1	3500	4500	45	35	5	85	10	0,2	0,6
	2	3500	4500	35	25	3	90	10	0,2	
	3	3000	2500	35	20	6	90	10	0,15	0,5
	4	3000	2500	25	15	3	87	10	0,15	
	5	2800	3500	70	60	6	98	5	0,15	0,4
	6	2800	3500	60	50	5	95	5	0,15	
3. Метанол – вода	1	3500	4500	60	50	5	95	10	0,15	0,6
	2	3500	4500	55	35	3	95	10	0,15	
	3	3000	2500	45	25	4	96	10	0,15	0,5
	4	3000	2500	35	15	2	98	10	0,15	
	5	5000	4000	40	30	7	96	12	0,1	0,4
	6	4000	3000	30	20	3	90	10	0,1	
4. Водно-уксусная кислота	1	3500	4500	35	25	3	95	10	0,15	0,6
	2	3500	4500	30	20	8	90	10	0,15	
	3	3000	2500	40	20	2	98	10	0,10	0,5
	4	3000	2500	30	15	5	97	10	0,10	
	5	2800	2000	25	20	2	93	10	0,15	0,4
	6	2500	2300	30	35	3	94	15	0,15	
5. Бензол – толуол	1	3500	4500	45	30	2	98	10	0,2	0,6
	2	3500	4500	35	20	4	96	10	0,2	
	3	3000	2500	50	30	2	96	10	0,15	0,5
	4	3000	2500	30	10	4	98	10	0,15	
	5	5000	3000	30	25	3	95	10	0,1	0,4
	6	4000	5000	25	20	5	92	10	0,1	
6. Хлороформ – бензол	1	3500	4500	45	35	5	95	10	0,15	
	2	3500	4500	55	40	3	98	10	0,15	0,6
	3	3000	2500	50	30	4	98	10	0,2	
	4	3000	2500	35	15	2	96	10	0,2	0,5
	5	5000	4000	35	30	5	95	10	0,1	
	6	4000	2000	25	20	5	90	10	0,1	0,4

Продолжение таблицы 3

7. Ацетон – этанол	1	3500	4500	45	30	4	96	10	0,15	0,6
	2	3500	4500	55	45	2	98	10	0,15	
	3	3000	2500	50	35	3	98	10	0,2	0,5
	4	3000	2500	25	10	5	98	10	0,2	
	5	3100	2800	45	35	5	95	10	0,12	0,4
	6	3200	3000	55	30	4	94	10	0,12	
8. Ацетон – бензол	1	3500	3500	40	20	4	96	10	0,2	0,6
	2	4500	4500	50	30	5	95	10	0,2	
	3	3000	2500	50	30	5	96	10	0,15	0,5
	4	3000	2500	45	25	3	98	10	0,15	
	5	4000	2000	30	20	4	94	10	0,1	0,4
	6	3800	3300	50	30	5	95	12	0,15	
9. Сероуглерод – 4-х хлористый углерод	1	3500	4500	55	40	4	94	10	0,1	0,6
	2	3500	4500	50	38	5	92	10	0,1	
	3	3000	2500	50	30	5	96	10	0,15	0,5
	4	3000	2500	45	25	3	98	10	0,15	
	5	3500	2500	50	45	5	93	10	0,1	0,4
	6	3200	3000	45	35	5	95	10	0,1	

5. Вопросы для самопроверки

1. Какие виды жидкостей принято различать в гидродинамике?
2. Какие основные физические свойства жидкостей применяются в решении инженерных задач?
3. Чем отличаются плотность и удельный вес жидкости при атмосферном давлении?
4. Что такое нормальные условия?
5. Как определяется плотность газов или паров?
6. Закон внутреннего трения Ньютона.
7. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости. Единицы измерения в системе СИ.
8. Как влияет температура на величину вязкости жидкостей и газов (паров)?
9. Приведите с необходимыми пояснениями расчетную формулу для определения динамического коэффициента вязкости газов или паров
10. Какие величины входят в число Рейнольдса?
11. Чему равна скорость движения жидкости в трубопроводе?
12. Определите диапазон изменения скоростей при напорном движении жидкостей в трубопроводе.
13. Как определить диаметр трубопровода или канала?
14. Назовите способы выражения составов бинарных систем жидкость – газ (пар).
15. Как зависит давление насыщенного пара жидкостей от температуры?

16. Приведите с необходимыми пояснениями расчетную формулу для определения потерь давления (напора) при течении жидкостей через трубопроводы и каналы.
17. От чего зависит величина коэффициента трения?
18. Что такое относительная шероховатость?
19. Поясните физический смысл процесса перегонки жидких смесей
20. От каких параметров зависит диаметр аппарата?

Список рекомендуемой литературы для самостоятельного изучения

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической техно-логии: учеб. для вызов / А. Г. Касаткин. – изд. 14-е, стер. – М.: Альянс, 2008. – 750 с.

2. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической техно-логии. Учебник для вузов. В 2-х кн. Часть I. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты/ Ю.И. Дытнерский. М.: Химия, 2002. – 400 с.

3. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособ. для студ. хим.-технолог. спец. вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков; под ред. П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.

4. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд; пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова.- изд., перераб. и доп.- Л.: Химия, 1982. - 592с.

5. Справочник химика / под ред. Б. П. Никольского, Л: Химия, т.1.1966. - 1168 с.

6. Перри, Дж. Г. Справочник инженера-химика Л: Химия, т.1. - 640 с.

7. Новый справочник химика и технолога. Химическое равнове-сие. Свойства растворов. - СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 998 с.