



Кафедра безопасности жизнедеятельности и
технологического оборудования

**Б1.О.10 Оборудование и средства технологического оснащения
предприятий по переработке растительного сырья**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Направления подготовки:

19.04.02 Продукты питания из растительного сырья

Квалификация выпускника

Магистр

Уфа 2024

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета
пищевых технологий

Составитель: докт.техн.наук, профессор Мартынов В.М., докт.техн.наук, профессор
Юхин Г.П.

Ответственная за выпуск: заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и
технологического оборудования, к.б.н. Латыпова Г.Ф.

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с устройством и работой ректификационной установки периодического действия в пусковом и рабочем режимах, экспериментальное и теоретическое определение количества и концентрации продуктов ректификации, времени нагрева водно-спиртового раствора до температуры кипения, флегмового числа; расчет потерь тепла в окружающую среду, числа теоретических тарелок и высоты колонны, эквивалентной теоретической тарелке (ВЭТТ), а также удельного расхода энергии.

2 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией ректификационной установки периодического действия.
2. Определить концентрацию спирта в исходной спиртосодержащей смеси, а после ее разделения – в дистилляте.
3. Экспериментально и расчетом определить время нагрева исходной смеси до температуры кипения.
4. Произвести ректификацию водно-спиртового раствора, снять показания с приборов и заполнить протокол наблюдений за работой ректификационной установки.
5. Построить диаграмму фазового равновесия и рабочую линию процесса в ректификационной колонне, определить величину рабочего и минимального флегмового числа, оценить потери тепла в окружающую среду, найти число теоретических тарелок, рассчитать ВЭТТ, коэффициент избытка флегмы и удельный расход энергии на ректификацию.
6. Проанализировать результаты эксперимента, сделать по ним выводы.

3 ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

Лабораторная установка для ректификации, включающая ректификационную колонну «Луммарк» с четырьмя термометрами ТС-4М и цифровым термометром-таймером SA 880 SSX, три ареометра АСП-3 (спиртомеры) с диапазоном измерения 0-40, 40-70, 70-100 об. %, секундомер, мензурки.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ректификация – тепломассообменный процесс, применяемый для разделения жидких смесей на технически чистые продукты.

Процесс разделения основан на различной летучести составляющих смесь компонентов. Для бинарной смеси одна из составляющих имеет большую летучесть и меньшую температуру кипения и называется **низкокипящий компонент (НК)**; другая составляющая кипит при более высокой температуре и менее летуча — **высококипящий компонент (ВК)**.

При кипении такой смеси в пар переходит в большей мере НК. Если этот пар конденсируется, то получают жидкость, обогащенную НК, а в оставшейся смеси будет преобладать ВК.

При помощи однократного кипячения и конденсации образующихся паров (процесс простой перегонки) не удастся достигнуть полного разделения компонентов. Поэтому применяют процесс многократного парообразования и конденсации, называемый ректификацией. Ректификацию осуществляют в аппаратах колонного типа.

Через ректификационную колонну противотоком движутся пар и жидкость, вступая во взаимодействие на контактных устройствах внутри колонны.

По типу контактных элементов различают колонны тарельчатые и насадочные, причем при небольших производительностях используют колонны, заполненные насадкой – телами с развитой поверхностью: различные кольца, спирали, сетки и т.п.

Для создания парового потока колонна оборудуется кубом-кипятильником. Жидкостной поток образуется за счет того, что пары из верхней части колонны поступают в поверхностный теплообменник. В теплообменнике могут быть сконденсированы либо все пары, либо только часть, возвращаемая в колонну для массообмена с паром и для поддержания концентрации НК, обеспечивающей равновесный состав уходящих паров. Эта жидкость называется **флегмой**, а теплообменник – **дефлегматором**.

При полной конденсации паров часть конденсата, остающаяся после отделения флегмы, представляет собой верхний продукт – ректификат (дистиллят), который после охлаждения в холодильнике направляют в сборник готовой продукции.

При неполной конденсации паров в дефлегматоре оставшиеся пары конденсируются и охлаждаются в другом теплообменнике – конденсаторе-холодильнике.

Отношение количества флегмы к количеству отбираемого дистиллята носит название **флегмового числа**.

При контакте пара и жидкости в колонне пар конденсируется, и за счет выделенной теплоты образуется новый пар, обогащенный НК.

Однократный контакт пара и жидкости теоретически завершается достижением **фазового равновесия**.

Элемент аппарата, обеспечивающий контакт пара и жидкости, в результате которого покидающие контактное устройство обе фазы будут равновесны, называется **теоретической тарелкой**.

Для определения числа теоретических тарелок совмещают на графике в координатах x (состав жидкости по НК) и y (состав паровой фазы также по НК) кривую фазового равновесия и рабочую линию колонны, выражающую зависимость между составом жидкости и пара для любого сечения колонны. Пользуясь уравнением рабочей линии и кривой равновесия, можно последовательно рассчитать содержание НК в паре и жидкости на каждой теоретической тарелке, если задана концентрация дистиллята x_D .

Очевидно, что количество теоретических тарелок будет влиять на качество разделения жидкой смеси (и, следовательно, концентрацию ректификата).

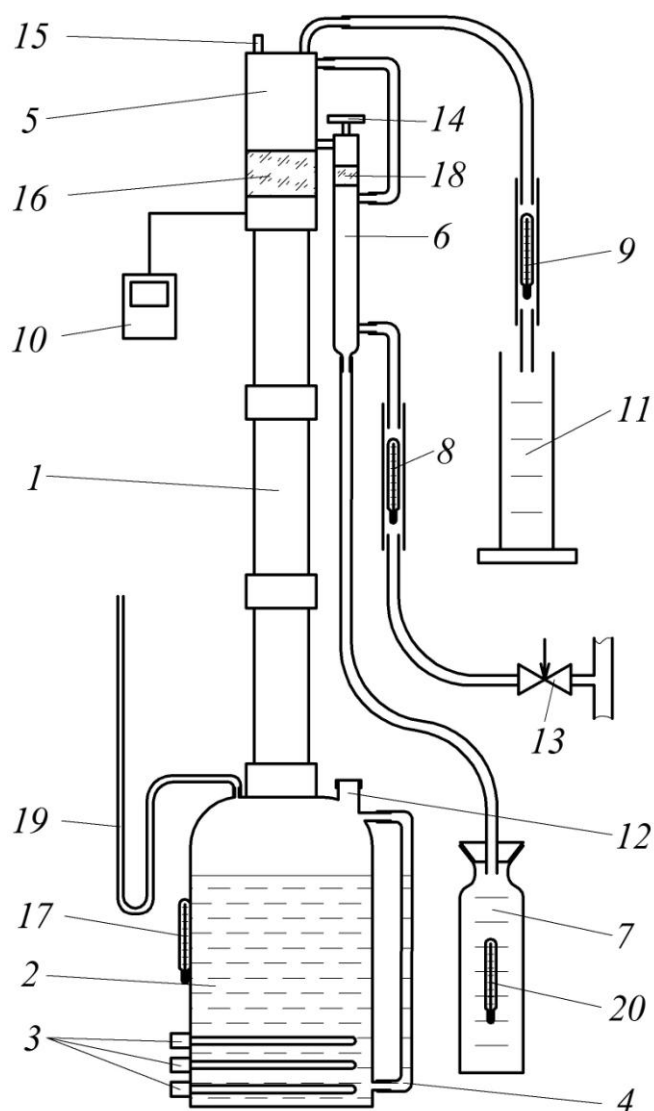
Жидкость, отводимую из куба-кипятильника, обедненную НК, называют **кубовым остатком**.

В установках непрерывного действия исходная смесь подводится, а дистиллят и кубовый остаток отводятся непрерывно. В установках периодического действия разделяемую смесь заливают в куб-кипятильник в начале процесса.

5 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Ректификационная установка периодического действия (рисунок 1) состоит из колонны 1 насадочного типа, куба-испарителя 2 с электрокипятильником 3 и указателем уровня 4, дефлегматора 5, холодильника 6, емкости для сбора дистиллята 7. Ко-

лонна состоит из трех царг, представляющих собой цилиндрическую часть корпуса колонны с разъемным соединением. Нижняя царга заполнена спирально-призматической насадкой, две верхних – регулярной насадкой типа Зульцера. Необходимая для охлаждения вода последовательно проходит через холодильник и трубную часть змеевика дефлегматора. Для замера температуры воды, поступающей в холодильник и выходящей из дефлегматора, установка снабжена термометрами 8 и 9. Температура флегмы замеряется с помощью термопары и электронного термометра 10. Расход воды определяют с помощью мерника 11 емкостью 250–500 мл и секундомера.



1 – колонна ректификационная; 2 – куб-испаритель; 3 – ТЭН; 4 – указатель уровня; 5 – дефлегматор; 6 – холодильник; 7,11 – мензурка; 8, 9, 17, 20 – термометры; 10 – электронный термометр; 12 – заливной патрубок; 13 – вентиль; 14 – регулятор дистиллята; 15 – дренажный штуцер; 16 – большое смотровое стекло; 18 – малое смотровое стекло; 19 – манометрическая трубка

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

6 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

6.1 Подготовка

В куб-испаритель установки заливают через патрубок 12 или через люк после съема царг исходную смесь (этиловый спирт-вода, виноматериал и т. п.) в количестве от 3 до 10 литров. Предварительно замеряют концентрацию этой смеси. Для этого отбирают в мерный цилиндр объемом 250 – 500 мл пробу, опускают в него один из имеющихся трех ареометров с соответствующей градацией. Показание спиртомера при температуре, отличной от 20 °С, пересчитывают на концентрацию при 20 °С согласно таблицы А.1 приложения А. Рекомендуемая концентрация 30-60 об. %.

Открывают вентиль 13 для подачи воды в установку. Закрывают отбор дистиллята при помощи регулятора 14.

Включают все три ТЭНа электрокипятильника 3 в сеть питания (для ускорения нагрева смеси на максимальную мощность 3 кВт) и одновременно запускают секундомер. В момент начала кипения раствора секундомер отключают и фиксируют время нагрева исходной смеси до температуры кипения. Признаками кипения смеси служит ее бурление, повышение давления в кубе-испарителе, выход воздуха из колонны через дренажный штуцер 15 дефлегматора, а также резкое повышение температуры пара на выходе из колонны, где установлен щуп термометра 10.

После выхода установки на режим «захлебывания», при котором появляются струи жидкости в большом смотровом стекле 16, вследствие ее выноса из аппарата газовым потоком, оставляют включенным только один ТЭН, а два ТЭНа выключают во избежание бурного кипения смеси в кубе и «захлебывания» колонны. После «успокоения» колонны включают второй ТЭН и регулируют его мощность с помощью трансформатора таким образом, чтобы установка работала при максимальной мощности, но без «захлебывания». Расход охлаждающей воды при этом должен быть в пределах 15 – 25 л/ч, а ее температура после дефлегматора должна быть на 15 – 20 °С ниже температуры кипения отбираемой фракции дистиллята. Верхняя часть (2 см) дефлегматора должна быть холодной.

При помощи термометра 17 замеряют температуру наружной стенки куба-испарителя.

6.2 Проведение работы

Замечают время – начало испытания. Открывают отбор дистиллята с помощью регулятора 14, который должен составлять 15–20 мл/мин.

Записывают в протокол наблюдений показания приборов через каждые 15 – 25 мин (таблица 1).

Работу заканчивают, когда в сборнике дистиллята накопится 0,5 – 1,5 л продукта или по истечении одного часа.

После окончания испытания выключают обогрев куба-испарителя, прекращают подачу воды в установку. Измеряют среднюю концентрацию дистиллята.

Таблица 1 – Протокол наблюдений

Наименование	Значение			
Количество исходной смеси V_n , л				
Концентрация исходной смеси по НК x_n , об. %				
Время нагрева исходной смеси до температуры кипения $t_{нагр}$, с				
Мощность электрокипятильника при нагреве раствора $N_{нагр}$, кВт				
Температура окружающей среды $t_{окр}$, °C				
№ испытания	1	2	3	Среднее (общее)
Время от начала испытания τ , мин				
Температура воды, поступающей в холодильник t_6^H , °C				
Температура воды, выходящей из дефлегматора t_6^K , °C				
Температура флегмы t_ϕ , °C				
Температура наружной стенки куба-испарителя $t_{ст}$, °C				
Расход воды G_6 , л/мин (кг/мин)				
Температура дистиллята после холодильника t_δ , °C				
Мощность электрокипятильника в процессе испытания N , кВт				
Количество дистиллята V_δ , л				
Концентрация дистиллята по НК x_δ , об. %				

7 ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИСПЫТАНИЯ

7.1 По таблице А.3 приложения А пересчитывают концентрации исходной смеси x_n и дистиллята x_d из об. % в мас. %, а также находят значения плотности при этих концентрациях ρ_n и ρ_d . Пересчет концентраций для водно-спиртового раствора из объемных $x_{об}$ в массовые $x_{мас}$ можно произвести также по формуле

$$x_{мас} = 789,27 \cdot x_{об} / \rho,$$

где ρ – плотность раствора в кг/м³, соответствующая концентрации $x_{об}$ и температуре 20 °С.

Определяют массу исходной смеси и дистиллята-ректификата

$$M_n = V_n \cdot \rho_n / 1000; \quad M_d = V_d \cdot \rho_d / 1000.$$

Из уравнения материального баланса находят массу кубового остатка

$$M_k = M_n - M_d$$

и его массовую концентрацию в процентах

$$x_k = (M_n \cdot x_n - M_d \cdot x_d) / M_k.$$

Определяют массу прошедшей воды за время ректификации τ

$$M_g = G_g \cdot \tau.$$

7.2 Исходя из уравнения теплового баланса процесса разогрева куба-испарителя, определяют время доведения исходного раствора до температуры кипения. Если разогрев осуществляется при мощности $N_{нагр}$ в течение времени $\tau_{нагр}$, то подведенное за это время количество теплоты $N_{нагр} \cdot \tau_{нагр}$ затрачивается на нагрев исходной смеси $Q_{см}$, стенок куба-испарителя $Q_{ст}$ и потери в окружающую среду $Q_{окр}$, т.е.

$$N_{нагр} \cdot \tau_{нагр} = Q_{см} + Q_{ст} + Q_{окр}.$$

Количество теплоты, приобретенной исходной смесью,

$$Q_{см} = M_n \cdot (c_n \cdot t_n - c_o \cdot t_o),$$

где t_n, t_o – конечная и начальная температуры исходной смеси, °С; начальная температура t_o обычно равна температуре окружающей среды $t_{окр}$, а конечная t_n – температуре кипения исходного раствора, и принимается согласно таблицы А.5 приложения А в зависимости от концентрации x_n .

c_n, c_o – удельные теплоемкости исходной смеси в конце и начале ее разогрева, определяемые по таблице А.2 в зависимости от массового содержания спирта в исходной смеси x_n и при температуре соответственно t_n и t_o .

Количество теплоты, затраченное на нагрев стенок куба-испарителя от температуры окружающей среды $t_{окр}$ до температуры стенки t_{cm1} , равно

$$Q_{cm} = M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot (t_{cm1} - t_{окр}),$$

где M_{cm} – сухая масса куба-испарителя, равная для данной установки 3,6 кг;

c_{cm} – удельная теплоемкость материала, из которого изготовлен куб; для нержавеющей стали 12Х18Н10Т $c_{cm} = 485$ Дж/(кг·°С);

t_{cm1} – температура наружной стенки куба-испарителя в момент начала кипения раствора;

Потери теплоты в окружающую среду можно рассчитать по формуле

$$Q_{окр} = \alpha \cdot \Delta t_{cp} \cdot F \cdot \tau_{нагр},$$

где α – коэффициент теплоотдачи от наружной стенки куба-испарителя к воздуху, ориентировочно можно принять равным

$$\alpha = 9,47 + 0,07 \cdot \Delta t_{cp}; \quad (7.1)$$

Δt_{cp} – средняя разность температур между наружной стенкой куба и окружающим воздухом в процессе нагрева и доведения раствора до кипения, равная

$$\Delta t_{cp} = (t_{cm1} - t_{окр}) / 2;$$

F – площадь поверхности куба-испарителя; определяется расчетным путем при известных геометрических размерах куба-испарителя.

7.3 Составляют тепловой баланс для дефлегматора и холодильника, пренебрегая потерями теплоты в окружающую среду. Так как теплота, выделенная при конденсации паров в дефлегматоре $Q_{деф}$, а также при охлаждении дистиллята в холодильнике $Q_{хол}$, воспринимается водой, следует

$$M_g \cdot c_g \cdot (t_g^K - t_g^H) = Q_{хол} + Q_{деф}, \quad (7.2)$$

где c_g – теплоемкость воды, равная 4190 Дж/(кг·°С);

t_g^K, t_g^H – средние значения температуры воды из всех испытаний соответственно конечная и начальная, °С.

Количество теплоты, отданное дистиллятом в холодильнике, определяется в Дж по формуле

$$Q_{хол} = M_d \cdot c_d (t_\phi - t_d), \quad (7.3)$$

где t_ϕ – средние значения температуры флегмы из всех испытаний;

c_d - теплоемкость дистиллята, которую определяют по таблице А.2 приложения А в зависимости от массовой концентрации x_d при средней температуре дистиллята в холодильнике

$$t_{cp} = (t_\phi + t_d) / 2.$$

В дефлегматоре конденсируются все пары, которые в дальнейшем разделяются на дистиллят M_d и флегму M_ϕ . При этом флегмовое число равно

$$R = M_\phi / M_d,$$

тогда

$$Q_{def} = (M_d + M_\phi) \cdot (i_n - c_\phi \cdot t_\phi) = M_d \cdot (R + 1) \cdot (i_n - c_\phi \cdot t_\phi), \quad (7.4)$$

где i_n – энтальпия пара, Дж/кг (находится из таблицы А.4 приложения А в зависимости от массовой концентрации спирта в парах $y_n = x_\phi = x_d$);

c_ϕ – теплоемкость флегмы, определяемая по таблице А.2 в зависимости от массового содержания спирта во флегме x_d и при температуре флегмы t_ϕ .

Из уравнения теплового баланса (7.2) с учетом уравнений (7.3) и (7.4) определяют величину рабочего флегмового числа колонны, при котором произведена ректификация

$$R = [M_s \cdot c_s \cdot (t_s^k - t_s^n) - M_d \cdot c_d \cdot (t_\phi - t_d)] / [M_d \cdot (i_n - c_\phi \cdot t_\phi)] - 1.$$

7.4 Составляют тепловой баланс для ректификационной колонны:

$$N \cdot \tau + M_n \cdot c_n \cdot t_n + R \cdot M_d \cdot c_\phi \cdot t_\phi = M_d \cdot (1 + R) \cdot i_n + M_k \cdot c_k \cdot t_k + Q_n \cdot \tau, \quad (7.5)$$

где N – мощность электрокипятильника, при которой произведена ректификация, Вт;

τ – длительность процесса ректификации, с;

Q_n – потери теплоты в окружающую среду, Вт.

Потери теплоты в окружающую среду можно определить из уравнения теплового баланса (7.5), а также по уравнению

$$Q_n = \alpha \cdot \Delta t_{cp} \cdot F,$$

где Δt_{cp} – средняя разность температур между наружной стенкой и окружающим воздухом, равная

$$\Delta t_{cp} = t_{ст.ср} - t_{окр};$$

α – коэффициент теплоотдачи от наружной стенки куба-испарителя к воздуху, определяемый по формуле (7.1).

7.5 Пересчитывают концентрации исходной смеси x_n и дистиллята x_d из мас. % в мол. % по соотношению

$$x_{\text{мол}} = (100 \cdot x_{\text{мас}} / 46,07) / [x_{\text{мас}} / 46,07 + (100 - x_{\text{мас}}) / 18,02],$$

где 46,07 и 18,02 – молекулярные массы соответственно этанола и воды, кг/кмоль.

7.6 По данным таблицы А.5 приложения А, как показано на рисунке 2, строят диаграмму фазового равновесия (кривая 1) и рабочую линию колонны (прямая 2), соответствующую уравнению

$$y = R \cdot x / (R + 1) + x_d / (R + 1).$$

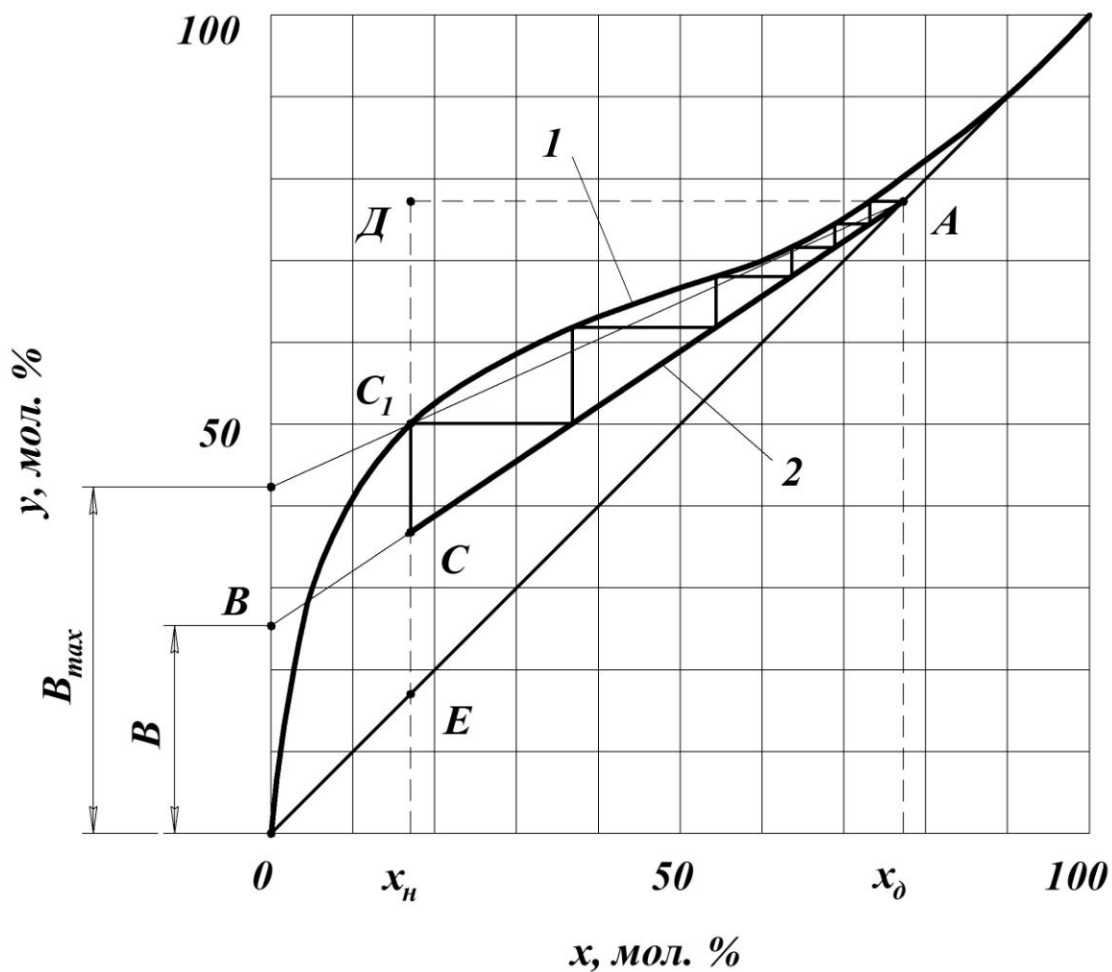


Рисунок 2 – Кривая фазового равновесия – 1, рабочая линия процесса – 2 и графические построения к определению числа теоретических тарелок колонны и минимального флегмового числа

7.7 Для построения рабочей линии восстанавливают перпендикуляр из точки на оси абсцисс, соответствующей значению x_d мол. % до пересечения с диагональю – точка А; рассчитывают величину

$$B = x_d / (R + 1)$$

в мол. % и откладывают ее значение на оси ординат – точка **B**. Соединяя точки **A** и **B**, получают рабочую линию колонны **AC**. Определяют число теоретических тарелок n_m , как число ступенек между рабочей и равновесной линиями в пределах от x_d до x_n (т.е. до перпендикуляра, восстановленного из точки на оси абсцисс, соответствующей концентрации исходной смеси x_n мол. % до рабочей линии). Число теоретических тарелок может быть дробным.

7.8 Определяют высоту насадки, эквивалентную теоретической тарелке – теоретической ступени изменения концентрации, называемую ВЭТТ. Эта величина служит для оценки эффективности работы колонны и определяется по формуле

$$ВЭТТ = H_{кол} / n_m,$$

где $H_{кол}$ – высота массообменной части колонны, которую измеряют на действующей установке.

7.9 Рассчитывают удельный расход энергии на ректификацию безводного спирта (дистиллята) в кВт·ч/кг по формуле

$$q = N \cdot \tau \cdot 100 / (x_d \cdot M_d).$$

7.10 Флегмовое число может быть изменено от минимального значения R_{min} до бесконечности. Минимальному флегмовому числу соответствует бесконечно большое число теоретических тарелок и минимальный расход энергии. Определить минимальное флегмовое число можно, если восстановить перпендикуляр из точки на оси абсцисс x_n до равновесной линии (точка C_I на рисунке 2), и провести линию через точки **A** и C_I до пересечения с осью ординат, а затем найти величину отрезка B_{max} в мол. %, тогда

$$R_{min} = (x_d - B_{max}) / B_{max}.$$

Флегмовое число R_{min} также можно определить на диаграмме по рисунку 2 как отношение величин отрезков

$$R_{min} = C_ID / C_IE = (x_d - y_{np}) / (y_{np} - x_n).$$

Следует отметить, что кривая фазового равновесия этанол – вода в верхней части имеет такой изгиб, при котором соединить точки **A** и C_I , не пересекая кривой фазового равновесия в других местах (особенно при высоких концентрациях x_d), не всегда удастся. В таких случаях минимальное значение R_{min} следует определять только графическим путем по диаграмме $x - y$, проведя из точки **A** касательную к кривой фазового равновесия до пересечения с осью ординат, а затем найти величину B_{max} и R_{min} .

Отношение рабочего и минимального флегмовых чисел называют коэффициентом избытка флегмы

$$K = R / R_{min}.$$

8 ОФОРМЛЕНИЕ ОЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы; методику проведения работы; схему лабораторной установки; протокол наблюдений; все необходимые расчеты; графические зависимости; общие выводы и выводы об экономичности работы установки и ее эффективности.

9 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип ректификации?
2. Для какой цели служит дефлегматор?
3. Какие массообменные процессы происходят на тарелках (или других массообменных устройствах) ректификационной колонны?
4. Что такое флегмовое число колонны?
5. На что и как влияет флегмовое число?
6. Как можно изменить и определить флегмовое число на испытываемой установке?
7. Как рассчитывают число теоретических тарелок колонны?
8. Как характеризуют эффективность процесса разделения смесей?
9. Что такое удельный расход энергии и от чего он зависит?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
2. Стабников В.Н., Николаев А.П., Мандельштейн М.Л. Ректификация в пищевой промышленности. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 232 с.
3. Цыганков П.С. Ректификационные установки спиртовой промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 336 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Относительное содержание спирта по объему при 20 °С в зависимости от показания стеклянного спиртомера и температуры раствора

Показания стеклянного спиртомера, %	Температура, °С															
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4,0	4,82	4,75	4,66	4,57	4,47	4,36	4,25	4,13	4,00	3,87	3,73	3,58	3,42	3,26	3,09	2,91
4,5	5,36	5,27	5,18	5,09	4,98	4,87	4,76	4,63	4,50	4,36	4,22	4,07	3,91	3,74	3,57	3,40
5,0	5,89	5,80	5,71	5,61	5,50	5,39	5,27	5,14	5,00	4,86	4,72	4,56	4,40	4,23	4,06	3,88
5,5	6,42	6,32	6,23	6,13	6,02	5,90	5,73	5,64	5,50	5,36	5,21	5,05	4,88	4,71	4,53	4,36
6,0	6,94	6,85	6,75	6,65	6,54	6,42	6,29	6,14	6,00	5,86	5,71	5,54	5,37	5,20	5,01	4,83
6,5	7,47	7,37	7,27	7,16	7,05	6,92	6,79	6,65	6,59	6,35	6,12	6,03	5,85	5,67	5,49	5,31
7,0	8,00	7,90	7,79	7,68	7,57	7,44	7,29	7,15	7,00	6,85	6,69	6,52	6,34	6,16	5,97	5,78
7,5	8,53	8,43	8,32	8,20	8,06	7,96	7,81	7,66	7,50	7,34	7,18	7,01	6,83	6,64	6,44	6,24
8,0	9,07	8,96	8,85	8,73	8,01	8,47	8,32	8,16	8,00	7,89	7,68	7,50	7,31	7,12	6,92	6,72
8,5	9,60	9,49	9,38	9,26	9,13	8,99	8,83	8,67	8,50	8,33	8,16	7,99	7,79	7,60	7,40	7,20
9,0	10,14	10,02	9,90	9,78	9,65	9,50	9,35	9,18	9,00	8,83	8,66	8,47	8,28	8,08	7,88	7,67
9,5	10,68	10,56	10,43	10,29	10,15	10,01	9,85	9,68	9,50	9,32	9,14	8,95	8,75	8,55	8,35	8,14
10,0	11,21	11,08	10,95	10,81	10,67	10,52	10,35	10,18	10,00	9,82	9,63	9,43	9,23	9,02	8,82	8,61
10,5	11,76	11,62	11,49	11,35	11,20	11,04	10,87	10,69	10,50	10,32	10,13	9,92	9,72	9,51	9,30	9,09
11,0	12,32	12,17	12,02	11,87	11,72	11,56	11,38	11,19	11,00	10,82	10,62	10,41	10,20	9,99	9,78	9,56
11,5	12,87	12,72	12,56	12,40	12,24	12,07	11,89	11,70	11,50	11,31	11,11	10,90	10,68	10,46	10,25	10,02
12,0	13,42	13,26	13,10	12,93	12,76	12,59	12,40	12,20	12,00	11,80	11,60	11,38	11,16	10,94	10,72	10,49
12,5	13,98	13,81	13,64	13,46	13,28	13,10	12,91	12,71	12,50	12,29	12,08	11,86	11,64	11,40	11,18	10,96
13,0	14,54	14,36	14,18	14,00	13,82	13,63	13,43	13,22	13,00	12,79	12,57	12,34	12,12	11,88	11,65	11,42
13,5	15,10	14,91	14,73	14,54	14,35	14,16	13,95	13,73	13,50	13,28	13,06	12,83	12,59	12,36	12,12	11,88
14,0	15,66	15,47	15,28	15,08	14,88	14,68	14,46	14,24	14,00	13,77	13,55	13,31	13,07	12,83	12,58	12,34
14,5	16,23	16,02	15,82	15,62	15,41	15,20	14,98	14,74	14,50	14,27	14,03	13,79	13,55	13,30	13,05	12,80
15,0	16,80	16,58	16,37	16,16	15,94	15,72	15,49	15,25	15,00	14,76	14,52	14,27	14,02	13,77	13,51	13,26
15,5	17,37	17,14	16,92	16,70	16,47	16,24	16,00	15,75	15,50	15,25	15,00	14,74	14,49	14,23	13,97	13,72
16,0	17,96	17,72	17,48	17,24	17,00	16,76	16,51	16,25	16,00	15,74	15,48	15,22	14,96	14,70	14,43	14,17
16,5	18,53	18,28	18,04	17,79	17,54	17,29	17,03	16,76	16,50	16,24	15,97	15,70	15,43	15,16	14,89	14,62
17,0	19,11	18,85	18,60	17,82	18,08	17,82	17,55	17,27	17,00	16,73	16,46	15,18	15,91	15,63	15,35	15,07
17,5	19,68	19,41	19,14	18,87	18,61	18,34	18,06	17,78	17,50	17,22	16,94	16,66	16,38	16,09	15,81	15,52
18,0	20,26	19,98	19,71	19,43	19,15	18,87	18,59	18,30	18,00	17,70	17,43	17,14	16,84	16,56	16,27	15,97
18,5	20,82	20,54	20,25	19,96	19,68	19,39	19,10	18,80	18,50	18,21	17,91	17,61	17,32	17,02	16,72	16,42
19,0	21,39	21,10	20,80	20,50	20,20	19,91	19,62	19,31	19,00	18,70	18,39	18,09	17,79	17,48	17,18	16,88
19,5	21,94	21,64	21,34	21,04	20,74	20,43	20,12	19,81	19,50	19,19	18,88	18,57	18,26	17,95	17,64	17,33
20,0	22,50	22,19	21,88	21,56	21,25	20,94	20,63	20,32	20,00	19,69	19,37	19,05	18,73	18,42	18,10	17,78
20,5	23,05	22,73	22,42	22,09	21,78	21,46	21,14	20,82	20,50	20,18	19,86	19,53	19,21	18,89	18,57	18,25
21,0	23,61	23,28	22,96	22,63	22,30	21,97	21,64	21,32	21,00	20,67	20,35	20,02	19,69	19,36	19,04	18,71
21,5	24,16	23,82	23,49	23,16	22,82	22,49	22,16	21,83	21,50	21,17	20,84	20,50	20,17	19,84	19,51	19,18
22,0	24,72	24,37	24,03	23,69	23,34	23,00	22,66	22,33	22,00	21,66	21,33	20,99	20,65	20,32	19,98	19,66
22,5	25,26	24,91	24,56	24,21	23,86	23,51	23,17	22,83	22,50	22,16	21,82	21,48	21,14	20,80	20,46	20,12
23,0	25,81	25,45	25,10	24,74	24,38	24,03	23,68	23,34	23,00	22,66	22,31	21,96	21,62	21,27	20,93	20,59
23,5	26,36	25,99	25,63	25,27	24,91	24,55	24,19	23,84	23,50	23,15	22,80	22,45	22,10	21,75	21,41	21,06
24,0	26,91	26,54	26,17	25,80	25,43	25,06	24,70	24,35	24,00	23,65	23,29	22,94	22,58	22,23	21,89	21,54
24,5	27,47	27,35	26,71	26,34	25,96	25,59	25,22	24,86	24,50	24,14	23,78	23,42	23,07	22,71	22,36	22,01
25,0	28,02	27,63	27,25	26,87	26,49	26,11	25,73	25,36	25,00	24,64	24,27	23,91	23,55	23,19	22,84	22,48
25,5	28,56	28,17	27,78	27,39	27,00	26,62	26,24	25,87	25,50	25,13	24,76	24,40	24,03	23,67	23,31	22,95
26,0	29,09	28,69	28,30	27,91	27,52	27,12	26,74	26,37	26,00	25,62	25,25	24,88	24,51	24,15	23,78	23,41

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
26,5	29,63	29,23	28,83	28,43	28,03	27,64	27,25	26,87	26,50	26,12	25,75	25,37	25,00	24,63	24,26	23,89
27,0	30,16	29,7	29,36	28,96	28,56	28,16	27,77	27,38	27,00	26,62	26,24	25,86	25,48	25,11	24,73	24,36
27,5	30,69	30,28	29,88	29,47	29,06	28,66	28,27	27,88	27,50	27,12	26,73	26,35	25,97	25,59	25,21	24,83
28,0	31,22	30,81	30,46	29,98	29,57	29,16	28,77	28,38	28,00	27,61	27,22	26,84	26,45	26,07	25,68	25,30
28,5	31,74	31,32	30,91	30,50	30,09	29,69	29,29	28,89	28,50	28,11	27,72	27,33	26,94	26,56	26,17	25,78
29,0	32,26	31,84	31,43	31,02	30,61	30,20	29,80	29,40	29,00	28,61	28,21	27,82	27,43	27,04	26,65	26,26
29,5	32,77	32,35	31,94	31,53	31,12	30,71	30,30	29,90	29,50	29,10	28,70	28,31	27,92	27,53	27,14	26,74
30,0	33,28	32,87	32,46	32,05	31,63	31,22	30,81	30,40	30,00	29,60	29,20	28,80	28,40	28,01	27,62	27,22
30,5	33,78	33,36	32,95	32,54	32,13	31,72	31,31	30,90	30,50	30,09	29,69	29,29	28,89	28,50	28,10	27,70
31,0	34,28	33,86	33,45	33,04	32,63	32,22	31,81	31,40	31,00	30,59	30,18	29,77	29,37	28,98	28,57	28,18
31,5	34,78	34,37	33,95	33,54	33,13	32,72	32,31	31,90	31,50	31,09	30,68	30,28	29,87	29,47	29,07	28,67
32,0	35,28	34,87	34,46	34,05	33,64	33,23	32,82	32,41	32,00	31,59	31,18	30,78	30,31	29,97	29,56	29,16
32,5	35,78	35,37	34,96	34,55	34,14	33,73	33,32	32,91	32,50	32,09	31,68	31,28	30,87	30,47	30,06	29,66
33,0	36,28	35,78	35,46	35,05	34,64	34,24	33,83	33,42	33,00	32,59	32,18	31,78	31,38	30,98	30,56	30,16
33,5	36,77	36,36	35,95	35,54	35,14	34,74	34,33	33,91	33,50	33,09	32,58	32,28	31,87	31,47	31,06	30,65
34,0	37,26	36,85	36,44	36,04	35,63	35,23	34,82	34,41	34,00	33,59	33,18	32,78	32,37	31,97	31,55	31,15
34,5	37,76	37,35	36,94	36,54	36,13	35,73	35,33	34,92	34,50	34,09	33,68	33,27	32,87	32,47	32,06	31,65
35,0	38,26	37,85	37,44	37,04	36,64	36,24	35,83	35,42	35,00	34,59	34,18	33,77	33,37	32,97	32,56	32,16
35,5	38,75	38,35	37,94	37,53	37,13	36,73	36,32	35,91	35,50	35,09	34,68	34,28	33,87	33,47	33,06	32,66
36,0	39,25	38,84	38,44	38,03	37,62	37,22	36,82	36,41	36,00	35,59	35,18	34,78	34,37	33,97	33,57	33,16
36,5	39,75	39,34	38,93	38,52	38,12	37,72	37,32	36,91	36,50	36,09	35,68	35,28	34,88	34,47	34,07	33,66
37,0	40,25	39,84	39,43	39,02	38,62	38,22	37,82	37,41	37,00	36,59	36,19	35,78	35,38	34,98	34,57	34,17
37,5	40,75	40,34	39,93	39,52	39,11	38,71	38,31	37,91	37,50	37,10	36,69	36,29	35,88	35,48	35,08	34,67
38,0	41,25	40,84	40,43	40,02	39,62	39,22	38,81	38,41	38,00	37,60	37,20	36,80	36,39	35,98	35,58	35,18
38,5	41,74	41,34	40,93	40,52	40,11	39,71	39,30	38,90	38,50	38,10	37,70	37,30	36,89	36,49	36,09	35,68
39,0	42,23	41,83	41,42	41,01	40,60	40,20	39,80	39,40	39,00	38,60	38,20	37,80	37,40	36,99	36,59	36,19
39,5	42,72	42,32	42,91	41,51	41,10	40,70	40,30	39,90	39,50	39,10	38,70	38,30	38,90	37,49	37,09	36,69
40,0	43,21	42,81	42,41	42,01	41,60	41,20	40,80	40,40	40,00	39,60	39,20	38,80	38,40	38,00	37,59	37,19
40,5	43,70	43,30	42,90	42,50	42,09	41,69	41,29	40,89	40,50	40,10	39,70	39,30	38,90	38,48	38,09	37,70
41,0	44,19	43,79	43,39	42,99	42,59	42,19	41,79	41,39	41,00	40,60	40,20	39,80	39,40	39,00	38,60	38,20
41,5	44,68	44,28	43,89	43,49	43,09	42,69	42,29	41,89	41,50	41,10	40,70	40,30	39,90	39,50	39,10	38,71
42,0	45,17	44,77	44,38	43,98	43,58	43,18	42,78	42,39	42,00	41,60	41,20	40,80	40,40	40,01	39,60	39,21
42,5	45,66	45,27	44,87	44,47	44,08	43,68	43,28	42,89	42,50	42,10	41,70	41,30	40,91	40,51	40,11	39,72
43,0	46,15	45,76	45,36	44,97	44,57	44,18	43,78	43,39	43,00	42,60	42,21	41,82	41,42	41,02	40,62	40,23
43,5	46,64	46,25	45,86	45,47	45,07	44,68	44,28	43,89	43,50	43,11	42,72	42,32	41,93	41,53	41,13	40,74
44,0	47,13	46,75	46,36	45,97	45,58	45,18	44,78	44,39	44,00	43,61	43,22	42,83	42,44	42,04	41,64	41,25
44,5	47,62	47,24	46,85	46,46	46,07	45,68	45,28	44,89	44,50	44,11	43,72	43,33	42,94	42,55	42,15	41,76
45,0	48,12	47,73	47,35	46,94	45,57	46,18	45,78	45,39	45,00	44,61	44,23	43,84	43,44	43,05	42,66	42,27
45,5	48,61	48,22	47,84	47,45	47,07	46,68	46,28	45,89	45,50	45,11	44,73	44,34	43,95	43,56	43,17	42,78
46,0	49,10	48,72	48,34	47,95	47,56	47,18	46,79	46,39	46,00	45,61	45,23	44,84	44,45	44,06	43,67	43,29
46,5	49,59	49,21	48,83	48,44	48,06	47,67	47,28	46,89	46,50	46,11	45,73	45,34	44,95	44,56	44,18	43,79
47,0	50,08	49,70	49,32	49,94	48,56	48,17	47,78	47,39	47,00	46,61	46,23	45,84	45,45	45,06	44,68	44,30
47,5	50,56	50,19	49,81	49,43	49,05	48,67	48,29	47,89	47,50	47,11	46,73	46,34	45,95	45,57	45,18	44,80
48,0	51,05	50,67	50,30	49,92	49,54	49,16	48,78	48,39	48,00	47,61	47,23	46,84	45,45	46,07	45,69	45,31
48,5	51,54	51,16	50,78	50,41	50,03	49,65	49,27	48,89	48,50	48,11	47,73	47,35	46,96	46,58	46,19	45,81
49,0	52,03	51,65	51,28	50,90	50,52	50,14	49,76	49,38	49,00	48,62	48,23	47,85	47,46	47,08	46,70	46,32
49,5	52,51	52,14	51,77	51,39	51,02	50,64	50,26	49,88	49,50	49,12	48,73	48,35	47,97	47,58	47,20	46,83
50,0	53,00	52,63	52,26	51,88	51,51	51,13	50,76	50,38	50,00	49,62	49,24	48,85	48,47	48,09	47,71	47,33
50,5	53,49	53,12	52,75	52,38	52,00	51,62	51,25	50,88	50,50	50,12	49,74	49,36	48,98	48,60	48,22	47,84
51,0	53,98	53,61	53,24	52,87	52,49	52,12	51,75	51,37	51,00	50,62	50,24	49,87	49,49	49,10	48,72	48,35
51,5	54,47	54,10	53,73	53,36	52,99	52,62	52,24	51,87	51,50	51,12	50,74	50,37	49,99	49,61	49,23	48,86
52,0	54,96	54,59	54,23	53,86	53,49	53,12	52,75	52,38	52,00	51,62	50,25	50,87	50,50	50,12	49,74	49,37
52,5	55,44	55,08	54,72	54,35	53,98	53,61	53,24	52,87	52,50	52,12	51,75	51,38	51,01	50,63	50,25	49,88
53,0	55,93	55,57	55,21	54,84	54,47	54,11	53,74	53,34	53,00	52,63	52,26	51,89	51,52	51,14	50,76	50,39
53,5	56,42	56,06	55,70	55,33	54,97	54,60	54,23	53,87	53,50	53,13	52,76	52,39	52,02	51,65	51,27	50,90
54,0	56,90	56,54	56,18	55,82	55,46	55,10	54,73	54,37	54,00	53,63	53,26	52,89	52,52	52,15	51,78	51,41

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
54,5	57,39	57,03	56,67	56,31	55,95	55,59	55,23	54,85	54,50	54,13	53,77	53,40	53,03	52,66	52,29	51,92
55,0	57,88	57,52	57,17	56,81	56,45	56,09	55,73	55,36	55,00	54,63	54,27	53,90	53,53	53,16	52,80	52,43
55,5	58,37	58,02	57,66	57,30	56,94	56,58	56,22	55,86	55,50	55,14	54,77	54,41	54,04	53,67	53,30	52,94
56,0	58,87	58,51	58,15	57,80	57,44	57,08	56,72	56,36	56,00	55,64	55,28	54,92	54,55	54,18	53,82	53,45
56,5	59,35	59,00	58,65	58,29	57,93	57,58	57,22	56,86	56,50	56,14	55,78	55,42	55,05	54,69	54,32	53,96
57,0	59,84	59,49	59,14	58,78	58,43	58,07	57,72	57,36	57,00	56,64	56,28	55,92	55,56	55,19	54,83	54,47
57,5	60,33	59,98	59,63	59,27	58,92	58,57	58,22	57,86	57,50	57,14	56,79	56,43	56,06	55,70	55,34	54,98
58,0	60,82	60,47	60,12	59,77	59,42	59,07	58,72	58,36	58,00	57,65	57,29	56,93	56,57	56,21	55,85	55,49
58,5	61,31	60,96	60,61	60,26	59,91	59,56	59,21	58,85	58,50	58,15	57,80	57,44	57,08	56,72	56,36	56,00
59,0	61,80	61,46	61,11	60,76	60,41	60,06	59,71	59,35	59,00	58,65	58,30	57,94	57,58	57,22	56,86	56,50
59,5	62,30	61,95	61,60	61,25	60,90	60,55	60,20	59,85	59,50	59,15	58,80	58,45	58,09	57,73	57,37	57,01
60,0	62,78	62,44	62,09	61,74	61,40	61,05	60,70	60,35	60,00	59,65	59,30	58,95	58,59	58,24	57,88	57,52
60,5	63,27	62,93	62,58	62,23	61,89	61,54	61,20	60,85	60,50	60,15	59,80	59,45	59,10	68,74	58,39	58,03
61,0	63,76	63,42	63,08	62,73	62,38	62,03	61,69	61,35	61,00	60,65	60,30	59,95	59,60	59,25	58,90	58,54
61,5	64,25	63,91	63,57	63,22	62,88	62,53	62,19	61,84	61,50	61,16	60,81	60,46	60,11	59,76	59,41	59,05
62,0	64,74	64,40	64,06	63,72	63,38	63,04	62,69	62,34	62,00	61,65	61,31	60,96	60,61	60,26	59,92	59,56
62,5	65,23	64,89	64,55	64,21	63,87	63,51	63,19	62,84	62,50	62,16	61,81	61,47	61,12	60,77	60,42	60,07
63,0	65,72	65,39	65,05	64,71	64,37	64,03	63,68	63,34	63,00	62,66	62,31	61,97	61,62	61,28	60,93	60,58
63,5	66,21	65,88	65,54	65,20	64,86	64,52	64,18	63,84	63,50	63,16	62,81	62,47	62,13	61,78	61,44	61,09
64,0	66,70	66,37	66,03	65,69	65,36	65,02	64,68	64,34	64,00	63,66	63,32	62,98	62,63	62,29	61,94	61,60
64,5	67,19	66,86	66,53	66,19	65,85	65,51	65,18	64,84	64,50	64,16	63,82	63,48	63,13	62,79	62,45	62,10
65,0	67,68	67,35	67,02	66,68	66,35	66,01	65,67	65,34	65,00	64,66	64,32	63,98	63,64	63,29	62,95	62,61
65,5	68,18	67,85	67,51	67,18	66,84	66,51	66,17	65,83	65,50	65,16	64,82	64,48	64,14	63,80	63,46	63,12
66,0	68,67	68,34	68,01	67,68	67,34	67,01	66,67	66,33	66,00	65,66	65,32	64,99	64,65	64,31	63,97	63,63
66,5	69,16	68,83	68,50	68,17	67,84	67,50	67,17	66,83	66,50	66,17	65,83	65,49	65,15	64,81	64,47	64,14
67,0	69,65	69,32	68,99	68,66	68,33	68,00	67,67	67,33	67,00	66,67	66,33	65,99	65,66	65,31	64,98	64,64
67,5	70,14	69,81	69,48	69,16	68,83	68,50	68,16	67,83	67,50	67,16	66,83	66,49	66,16	65,82	65,48	65,15
68,0	70,63	70,30	69,98	69,65	69,32	68,99	68,66	68,33	68,00	67,66	67,33	66,99	66,66	66,32	65,99	65,65
68,5	71,12	70,80	71,47	70,14	69,82	69,49	69,16	68,83	68,50	68,17	67,83	67,50	67,17	66,83	66,50	66,16
69,0	71,61	71,29	70,97	70,64	70,32	69,99	69,66	69,33	69,00	68,67	68,34	68,01	67,67	67,34	67,00	66,67
69,5	72,11	71,79	71,46	71,14	70,81	70,49	70,16	69,83	69,50	69,17	68,84	68,51	68,18	67,84	67,52	67,18
70,0	72,60	72,28	71,96	71,64	71,31	70,99	70,66	70,33	70,00	69,67	69,34	69,01	68,69	68,35	68,02	67,69
70,5	73,09	72,77	72,45	72,13	71,80	71,48	71,16	70,83	70,50	70,16	69,84	69,52	69,19	68,86	68,53	68,20
71,0	73,58	73,26	72,94	72,62	72,30	71,98	71,65	71,33	71,00	70,68	70,35	70,02	69,69	69,39	69,04	68,71
71,5	74,06	73,75	73,43	73,11	72,79	72,47	72,15	71,82	71,50	71,18	70,85	70,52	70,20	69,86	69,54	69,21
72,0	74,55	74,24	73,92	73,60	73,28	72,96	72,64	72,32	72,00	71,68	71,35	71,03	70,70	70,37	70,04	69,72
72,5	75,04	74,73	74,42	74,10	73,78	73,46	73,14	72,82	72,50	72,18	71,85	71,53	71,20	70,88	70,55	70,23
73,0	75,53	75,22	74,91	74,59	74,28	73,96	73,64	73,32	73,00	72,68	72,35	72,03	71,71	71,38	71,06	70,74
73,5	76,02	75,71	75,40	75,08	74,77	74,45	74,13	73,82	73,50	73,18	72,86	72,54	72,22	71,89	71,57	71,25
74,0	76,52	76,21	75,90	75,58	75,26	74,94	74,63	74,31	74,00	73,68	73,36	73,04	72,72	72,40	72,08	71,76
74,5	77,01	76,70	76,39	76,07	75,76	75,44	75,13	74,81	74,50	74,18	73,87	73,55	73,23	72,91	72,59	72,27
75,0	77,50	77,19	76,88	76,57	76,26	75,94	75,62	75,31	75,00	74,69	74,37	74,06	73,74	73,42	73,10	72,78
75,5	77,98	77,68	77,37	77,06	76,75	76,44	76,12	75,81	75,50	75,19	74,87	74,56	74,24	73,92	73,60	73,28
76,0	78,47	78,16	77,86	77,55	77,24	76,93	76,62	76,31	76,00	75,68	75,37	75,06	74,74	74,42	74,11	73,79
76,5	78,96	78,65	78,35	78,04	77,74	77,43	77,12	76,81	76,50	76,19	75,87	75,56	75,24	74,93	74,61	74,29
77,0	79,44	79,14	78,84	78,53	78,23	77,92	77,61	77,30	77,00	76,69	76,37	76,06	75,75	75,43	75,12	74,80
77,5	79,93	79,63	79,33	79,03	78,72	78,42	78,11	77,80	77,50	77,19	76,88	76,57	76,26	75,94	75,63	75,31
78,0	80,42	80,12	79,82	79,52	79,22	78,91	78,61	78,30	78,00	77,69	77,38	77,07	76,76	76,45	76,14	75,82
78,5	80,91	80,61	80,32	80,02	79,72	79,41	79,11	78,80	78,50	78,19	77,88	77,58	77,27	76,96	76,65	76,33
79,0	81,40	81,10	80,81	80,51	80,21	79,91	79,61	79,30	79,00	78,70	78,39	78,08	77,78	77,46	77,15	76,84
79,5	81,88	81,59	81,30	81,00	80,70	80,40	80,10	79,80	79,50	79,20	78,89	78,58	78,28	77,97	77,66	77,35
80,0	82,37	82,08	81,79	81,49	81,20	80,90	80,60	80,30	80,00	79,70	79,39	79,09	78,78	78,48	78,17	77,86
80,5	82,86	82,57	82,28	81,99	81,69	81,39	81,10	80,80	80,50	80,20	79,90	79,59	79,29	78,98	78,68	78,37
81,0	83,34	83,05	82,76	82,47	82,18	81,89	81,59	81,30	81,00	80,70	80,40	80,10	79,79	79,49	79,19	78,88
81,5	83,83	83,54	83,26	82,97	82,68	82,38	82,09	81,80	81,50	81,20	80,90	80,60	80,30	80,00	79,70	79,39
82,0	84,32	84,04	83,75	83,46	83,17	82,88	82,59	82,30	82,00	81,70	81,41	81,11	80,81	80,50	80,20	79,90

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
82,5	84,80	84,52	84,23	83,95	83,66	83,37	83,08	82,79	82,50	82,21	81,91	81,61	81,31	81,01	80,71	80,41
83,0	85,28	85,00	84,72	84,44	84,16	83,87	83,58	83,29	83,00	82,71	82,41	82,12	81,82	81,52	81,22	80,92
83,5	85,76	85,49	85,21	84,93	84,64	84,36	84,08	83,79	83,50	83,21	82,92	82,62	82,33	82,03	81,73	81,44
84,0	86,25	85,97	85,69	85,41	85,13	84,85	85,57	84,29	84,00	83,71	83,42	83,13	82,83	82,54	82,25	81,95
84,5	86,73	86,46	86,18	85,90	85,63	85,34	85,06	84,78	84,50	84,21	83,92	83,63	83,34	83,05	82,75	82,46
85,0	87,21	86,94	86,67	86,39	86,12	85,84	85,56	85,28	85,00	84,71	84,43	84,14	83,85	83,56	83,26	82,97
85,5	87,69	87,42	87,15	86,88	86,61	86,33	86,05	85,78	85,50	85,22	84,93	84,65	84,36	84,07	83,78	83,49
86,0	88,17	87,91	87,64	87,37	87,10	86,82	86,55	86,27	86,00	85,72	85,44	85,15	84,87	84,58	84,29	84,00
86,5	88,65	88,39	88,12	87,85	87,58	87,31	87,04	86,77	86,50	86,22	85,94	85,66	85,38	85,09	84,80	84,52
87,0	89,13	88,87	88,61	88,34	88,08	87,81	87,54	87,27	87,00	86,72	86,45	86,17	85,89	85,60	85,32	85,03
87,5	89,61	89,35	89,09	88,83	88,56	88,30	88,03	87,76	87,50	87,23	86,95	86,67	86,40	86,12	85,83	85,55
88,0	90,09	89,83	89,57	89,31	89,05	88,79	88,52	88,26	88,00	87,73	87,46	87,18	86,91	86,63	86,34	86,06
88,5	90,56	90,31	90,06	89,80	89,51	89,28	89,02	88,76	88,50	88,23	87,96	87,69	87,42	87,14	86,86	86,58
89,0	91,04	90,79	90,54	90,28	90,03	89,77	89,51	89,26	89,00	88,73	88,47	88,20	87,93	87,65	87,38	87,10
89,5	91,52	91,27	91,02	90,77	90,52	90,26	90,00	89,75	89,50	89,24	88,97	88,71	88,44	88,17	87,89	87,62
90,0	91,99	91,75	91,50	91,26	91,01	90,75	90,50	90,25	90,00	89,74	89,48	89,22	88,95	88,63	88,41	88,14
90,5	92,46	92,22	91,98	91,74	91,50	91,24	90,98	90,75	90,50	90,24	89,98	89,73	89,47	89,20	88,93	88,66
91,0	92,94	92,70	92,46	92,22	91,98	91,74	91,49	91,25	91,00	90,73	90,49	90,24	89,98	89,72	89,45	89,18
91,5	93,41	93,18	92,94	92,70	92,46	92,22	91,98	91,74	91,50	91,25	91,00	90,74	90,49	90,23	89,97	89,70
92,0	93,88	93,65	93,42	93,19	92,95	92,71	92,48	92,24	92,00	91,75	91,50	91,25	91,00	90,74	90,48	90,22
92,5	94,35	94,12	93,89	93,66	93,43	93,20	92,97	92,73	92,50	92,26	92,01	91,76	91,51	91,25	91,00	90,75
93,0	94,81	94,59	94,37	94,15	93,92	93,69	93,46	93,23	93,00	92,76	92,52	92,27	92,03	91,78	91,53	91,27
93,5	95,28	95,06	94,84	94,62	94,40	94,17	93,95	93,73	93,50	93,26	93,02	92,79	92,55	92,30	92,05	91,80
94,0	95,74	95,53	95,32	95,10	94,88	94,66	94,44	94,22	94,00	93,77	93,53	93,30	93,06	92,82	92,58	92,33
94,5	96,21	96,00	95,79	95,58	95,37	95,15	94,93	94,72	94,50	94,27	94,04	93,81	93,58	93,35	93,10	92,86
95,0	96,68	96,47	96,27	96,06	95,85	95,64	95,42	95,21	95,00	94,78	94,55	94,33	94,10	93,81	93,63	93,39
95,5	97,14	96,94	96,74	96,54	96,33	96,12	95,92	95,71	95,50	95,28	95,06	94,84	94,62	94,39	94,16	93,92
96,0	97,60	97,40	97,21	97,02	96,82	96,61	96,41	96,20	96,00	95,79	95,57	95,35	95,13	94,91	94,68	94,45
96,5	98,05	97,86	97,68	97,49	97,29	97,09	96,89	96,70	96,50	96,29	96,08	95,86	95,65	95,44	95,22	94,99
97,0	98,50	98,32	98,14	97,96	97,77	97,58	97,38	97,19	96,99	96,79	96,59	96,38	96,17	95,96	95,75	95,52
97,5	98,96	98,78	98,61	98,43	98,24	98,06	97,88	97,69	97,50	97,30	97,10	96,90	96,70	96,49	96,28	96,06
98,0	99,41	99,24	99,07	98,90	98,72	98,54	98,36	98,18	98,00	97,81	97,61	97,42	97,22	97,02	96,82	96,60
98,5	99,86	99,70	99,53	99,36	99,19	99,02	98,85	98,68	98,50	98,31	98,12	97,94	97,75	97,56	97,36	97,15
99,0	-	-	100,0	99,83	99,67	99,50	99,34	99,17	99,00	98,82	98,64	98,46	98,27	98,09	97,90	97,70
99,5	-	-	-	-	-	100,0	99,83	99,66	99,50	99,33	99,15	98,98	98,80	98,63	98,45	98,26
100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	99,83	99,66	99,50	99,33	99,15	98,98	98,80

Таблица А.2 – Теплоемкость водно-спиртовых растворов

Содержание спирта x , мас. %	Теплоемкость в кДж/(кг К) при температуре									
	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100
5	4,31	4,22	4,23	4,23	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27
10	4,40	4,27	4,27	4,27	4,27	4,31	4,31	4,31	4,31	4,35
20	4,35	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31
30	4,19	4,27	4,27	4,27	4,40	4,44	4,48	4,52	4,56	4,60
40	3,94	4,10	4,10	4,10	4,19	4,27	4,35	4,40	4,44	4,48
50	3,64	3,85	3,85	3,89	4,02	4,11	4,23	4,31	4,40	4,48
60	3,35	3,60	3,60	3,64	3,85	3,94	4,10	4,22	4,35	4,48
70	3,14	3,35	3,35	3,39	3,68	3,77	3,94	4,10	4,27	4,44
80	2,81	3,05	3,10	3,14	3,22	3,44	3,64	3,85	4,06	4,27
90	2,55	2,76	2,81	2,85	2,93	3,14	3,35	3,56	3,77	3,98
100	2,26	2,43	2,51	2,59	2,72	2,85	2,97	3,10	3,27	3,43

Таблица А.3 – Соотношение объемных и массовых процентов и плотности жидких водно-спиртовых смесей при 20 °С

об. %	мас. %	кг/м ³	об. %	мас. %	кг/м ³	об. %	мас. %	кг/м ³	об. %	мас. %	кг/м ³	об. %	мас. %	кг/м ³
1	0,79	997	21	17,04	973	41	34,19	946	61	53,09	907	81	74,64	857
2	1,59	995	22	17,88	971	42	35,09	945	62	54,09	905	82	75,81	854
3	2,38	994	23	18,71	970	43	35,99	943	63	55,11	902	83	77,00	851
4	3,18	992	24	19,54	969	44	36,89	941	64	56,13	900	84	78,19	848
5	3,98	991	25	20,38	968	45	37,80	940	65	57,15	898	85	79,40	845
6	4,78	990	26	21,22	967	46	38,72	938	66	58,19	895	86	80,62	842
7	5,59	988	27	22,06	966	47	39,69	936	67	59,23	893	87	81,86	839
8	6,40	987	28	22,91	965	48	40,56	934	68	60,27	890	88	83,11	836
9	7,20	986	29	23,76	963	49	41,49	932	69	61,33	888	89	84,38	833
10	8,01	985	30	24,61	962	50	42,53	930	70	62,39	886	90	85,66	829
11	8,83	983	31	25,46	961	51	43,37	928	71	63,46	883	91	86,97	826
12	9,64	982	32	26,32	960	52	44,31	926	72	64,54	881	92	88,29	822
13	10,46	981	33	27,18	958	53	45,26	924	73	65,63	878	93	89,63	819
14	11,27	980	34	28,01	957	54	46,22	922	74	66,72	875	94	91,00	815
15	12,09	979	35	28,91	955	55	47,18	920	75	67,83	873	95	92,41	811
16	12,91	978	36	29,78	954	56	48,15	918	76	68,94	870	96	93,84	807
17	13,74	977	37	30,65	953	57	49,13	916	77	70,06	868	97	95,30	803
18	14,56	976	38	31,53	951	58	50,11	914	78	71,19	865	98	96,81	799
19	15,39	975	39	32,44	950	59	51,10	911	79	72,33	862	99	99,38	794
20	16,21	974	40	33,30	948	60	52,09	909	80	73,48	859	100	100	789

Таблица А.4 – Температура конденсации, теплота испарения и энтальпия пара водно-спиртовых смесей при нормальном давлении

Спирт в парах у, мас. %	Температура конденсации, °С	Теплота жидкости, кДж/кг	Теплота испарения смеси, кДж/кг	Энтальпия пара, кДж/кг	Спирт в парах у, мас. %	Температура кон- денсации, °С	Теплота жидкости, кДж/кг	Теплота испарения смеси, кДж/кг	Энтальпия пара, кДж/кг
0	100,0	418,6	2257,8	2676,7	55	90,6	356,9	1485	1841
5	99,4	434,7	2186,6	2611,4	60	89,6	343,0	1415,8	1758
10	98,8	426,4	2115,4	2541,9	65	87,0	322,9	1346,7	1668
15	98,2	423,5	2044,2	2467,7	70	85,1	306,6	1277,6	1584
20	97,6	420,0	1973,0	2394,0	75	82,8	284,4	1210,6	1495
25	97,0	420,6	1903,9	2324,5	80	80,8	260,1	1143,6	1403
30	96,0	418,0	1834,7	2251,6	85	79,6	250,0	1072,4	1322
35	95,3	407,1	1763,5	2170,7	90	78,7	237,5	996,9	1234
40	94,0	397,5	1692,3	2088,2	95	78,2	222,8	935,8	1148
45	93,2	382,4	1625,3	2007,7	100	78,3	209,8	854,5	1064
50	91,9	369,4	1554,1	1923,5					

Таблица А.5 – Равновесные составы жидкости и пара и температуры кипения смеси этиловый спирт-вода при нормальном давлении

Содержание спирта в жидкости x		Температура кипения, °C	Содержание спирта в парах y		Содержание спирта в жидкости x		Температура кипения, °C	Содержание спирта в парах y		Содержание спирта в жидкости x		Температура кипения, °C	Содержание спирта в парах y	
мас. %	мол. %		мас. %	мол. %	мас. %	мол. %		мас. %	мол. %	мас. %	мол. %		мас. %	мол. %
0,25	0,10	99,81	2,525	1,00	30,28	14,50	84,36	71,40	49,40	72,71	51,00	79,84	82,73	65,20
0,51	0,20	99,62	5,075	2,05	31,12	15,00	84,20	71,73	49,80	73,50	52,00	79,77	83,01	65,65
0,76	0,30	99,43	7,56	3,12	31,96	15,50	84,16	71,91	50,02	74,27	53,00	79,75	83,29	66,10
1,02	0,40	99,24	10,10	4,21	32,78	16,00	83,92	72,43	50,55	75,03	54,00	79,71	83,61	66,60
1,27	0,50	99,05	12,52	5,32	33,68	16,50	83,78	72,62	50,90	75,79	55,00	79,65	83,91	67,10
1,52	0,60	98,86	15,00	6,44	34,40	17,00	83,65	72,85	51,20	76,50	56,00	79,60	84,21	67,60
1,77	0,70	98,67	17,18	7,53	35,20	17,50	83,50	73,05	51,45	77,24	57,00	79,55	84,52	68,10
1,99	0,80	98,48	19,40	8,58	35,98	18,00	83,37	73,28	51,75	77,95	58,00	79,50	84,85	68,65
2,27	0,90	98,29	21,36	9,58	36,76	18,50	83,25	73,50	52,00	78,65	59,00	79,44	85,18	69,20
2,52	1,00	98,10	22,865	10,40	37,52	19,00	83,12	73,71	52,30	79,34	60,00	79,40	85,53	69,80
3,01	1,20	97,58	25,88	12,00	38,28	19,50	83,00	73,90	52,55	80,02	61,00	79,35	85,82	70,30
3,50	1,40	97,06	28,70	13,60	39,11	20,00	82,90	74,10	52,80	80,69	62,00	79,30	86,17	70,90
3,99	1,60	96,54	31,12	15,09	40,50	21,00	82,78	74,48	53,30	81,00	63,00	79,27	86,49	71,45
4,48	1,80	96,02	33,66	16,55	41,93	22,00	82,55	74,82	53,75	82,00	64,00	79,20	86,80	72,00
4,97	2,00	95,50	35,98	18,00	43,53	23,00	82,43	75,16	54,20	82,63	65,00	79,15	87,11	72,55
5,44	2,20	94,98	38,15	19,43	44,71	24,00	82,28	75,46	54,60	83,25	66,00	79,10	87,42	73,10
5,92	2,40	94,46	40,19	20,80	46,05	25,00	82,16	75,80	55,05	83,87	67,00	79,05	87,73	73,65
6,39	2,60	93,94	42,06	22,05	47,41	26,00	82,05	76,09	55,45	84,47	68,00	79,00	88,03	74,20
6,86	2,80	93,42	43,77	23,27	49,02	27,00	81,94	76,42	55,90	85,07	69,00	78,95	88,33	74,75
7,34	3,00	92,90	45,25	24,42	49,89	28,00	81,85	76,75	56,35	85,66	70,00	78,89	88,71	75,30
8,50	3,50	91,85	48,99	26,95	51,12	29,00	81,75	77,08	56,80	86,24	71,00	78,86	88,96	75,90
9,64	4,00	91,05	51,15	29,05	52,39	30,00	81,64	77,40	57,25	86,82	72,00	78,80	89,28	76,50
10,77	4,50	90,47	54,33	30,75	53,49	31,00	81,55	77,69	57,65	87,38	73,00	78,76	89,59	77,10
11,88	5,00	89,90	55,12	32,45	54,72	32,00	81,45	77,96	58,05	87,94	74,00	78,71	89,91	77,70
13,07	5,50	89,45	55,86	34,00	55,74	33,00	81,34	78,21	58,40	88,48	75,00	78,66	90,22	78,30
14,04	6,00	88,92	58,49	35,45	56,86	34,00	81,25	78,49	58,80	89,02	76,00	78,60	90,53	78,90
14,90	6,50	88,50	59,62	36,60	57,96	35,00	81,15	78,77	59,20	89,55	77,00	78,57	90,84	79,50
16,61	7,00	88,13	60,80	37,75	59,02	36,00	81,05	79,01	59,55	90,08	78,00	78,53	91,17	80,15
17,20	7,50	87,76	61,90	38,85	60,06	37,00	80,95	79,31	59,92	90,60	79,00	78,50	91,50	80,80
18,20	8,00	87,45	62,93	39,90	61,07	38,00	80,87	79,54	60,32	91,11	80,00	78,47	91,87	81,55
19,20	8,50	87,10	63,91	40,91	62,08	39,00	80,75	79,79	60,68	91,61	81,00	78,44	92,22	82,25
20,20	9,00	86,77	64,84	41,90	63,06	40,00	80,66	80,01	61,02	92,10	82,00	78,40	92,59	83,00
21,62	9,50	86,46	65,39	42,83	64,02	41,00	80,57	80,24	61,35	92,60	83,00	78,37	92,99	83,85
22,15	10,00	86,20	66,50	43,70	64,80	42,00	80,48	80,47	61,70	93,10	84,00	78,34	93,43	84,70
23,10	10,50	85,96	67,22	44,50	65,88	43,00	80,39	80,70	62,05	93,50	85,00	78,31	93,82	85,60
24,00	11,00	85,73	67,91	45,28	66,80	44,00	80,29	80,96	62,45	94,02	86,00	78,28	94,23	86,45
24,87	11,50	85,50	68,58	46,05	67,70	45,00	80,25	81,19	62,80	94,49	87,00	78,24	94,62	87,30
25,88	12,00	85,28	69,19	46,75	68,56	46,00	80,18	81,45	63,20	94,95	88,00	78,21	94,96	88,06
26,78	12,50	85,10	69,74	47,40	69,42	47,00	80,10	81,67	63,55	95,39	89,00	78,18	95,41	89,05
27,67	13,00	84,90	70,27	48,00	70,27	48,00	80,03	81,94	63,95	95,84	90,00	78,15	95,79	89,90
28,55	13,50	84,72	70,60	48,55	71,10	49,00	79,96	82,19	64,35	96,28	91,00	78,12	96,17	90,75
29,42	14,00	84,55	70,75	49,00	71,91	50,00	79,89	82,45	64,75	96,67	91,90	78,10	96,53	91,58