

КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ  
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

РЕКТИФИКАЦИЯ БИНАРНОЙ СМЕСИ

*Методические указания к выполнению  
Лабораторных и практических работ*

КРАСНОЯРСК 2013

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Красноярский государственный университет

## РЕКТИФИКАЦИЯ БИНАРНОЙ СМЕСИ

*Методические указания к выполнению  
Лабораторных и практических работ*

КРАСНОЯРСК 2013

*Рецензент:*

*В.Н. Холопов, д-р техн. наук, проф. кафедры АТЛМ СибГТУ*

*Составители:*

Ченцова Л.И.

Тепляшин В.Н.

Невзоров В.Н.

**Ченцова, Л.И.**

Ректификация бинарной смеси: метод. указания к выполнению лабораторных и практических работ / Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск 2013. - с.

Предназначено для студентов по направлению: 260100.62 «Продукты питания из растительного сырья», профили: «Технология хранения и переработки зерна», «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий», «Технология бродильных производств и виноделия», «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов», «Технология консервов и пищевых концентратов»; 151000.62 «Технологические машины и оборудование», профиль «Пищевая инженерия малых предприятий», «Машины и аппараты пищевых производств». По специальности «Процессы и аппараты пищевых производств».

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Красноярского государственного аграрного университета

Красноярский государственный  
аграрный университет, 2013

## Основы теории

В пищевых производствах производят очистку и перегонку этилового спирта в аппаратах непрерывного и периодического действия. В спиртовых и ликеро-водочных производствах для этой цели используют колонны с различными контактными устройствами. В виде тарелок и насадок различного типа.

Ректификация - это перегонка, при которой, для обеспечения лучшего разделения смеси часть дистиллята возвращают в колонну в качестве орошения навстречу восходящему пару; при этом в колонне происходит противоточное взаимодействие жидкости и пара, сопровождающееся тепло- и массообменом между фазами.

Процесс тепло- и массообмена проходит на границе раздела фаз жидкость-пар, поэтому важно создать максимальную поверхность контакта фаз. Такой поверхностью обмена является поверхность насадочных тел в насадочной колонне.

Эффективность разделения зависит от очень многих факторов: от свойств смеси, рабочих параметров, режимов работы, гидродинамики, ее конструктивных особенностей.

В колбу для испарения жидкости (куб колонны) заливается перегоняемая жидкость,  $G_f$ , содержание в которой низкокипящего компонента составляет  $X_f$  масс %. В процессе разделения эта смесь разделяется на дистиллят, обогащенный низкокипящим компонентом до содержания  $X_g$  % и кубовый остаток, обогащенный высококипящим компонентом, но обедненный низкокипящим компонентом  $X_w$  %.

В результате массообмена пар в колонне стремится перейти в равновесие с жидкости, стекающей по поверхности насадки более богатой низкокипящим компонентом. Поэтому поднимаясь по колонне вверх пар обогащается низкокипящим компонентом.

### Цель работы:

1. Определение числа ступеней изменения концентрации;
2. Расчет высоты насадочных колонн и сравнение ее с действительностью.

## Описание установки

Установка состоит из перегоночной колбы емкостью 1.5 л, колбонагревателя, колонки со стеклянной насадкой диаметром 30 мм,

высота насадки 400 мм. Для замера температуры пара дистиллята и куб.жидкости установлены термометры, концентрация паров дистиллята происходит в холодильнике. Дистиллят для анализа собирается в мерном цилиндре.

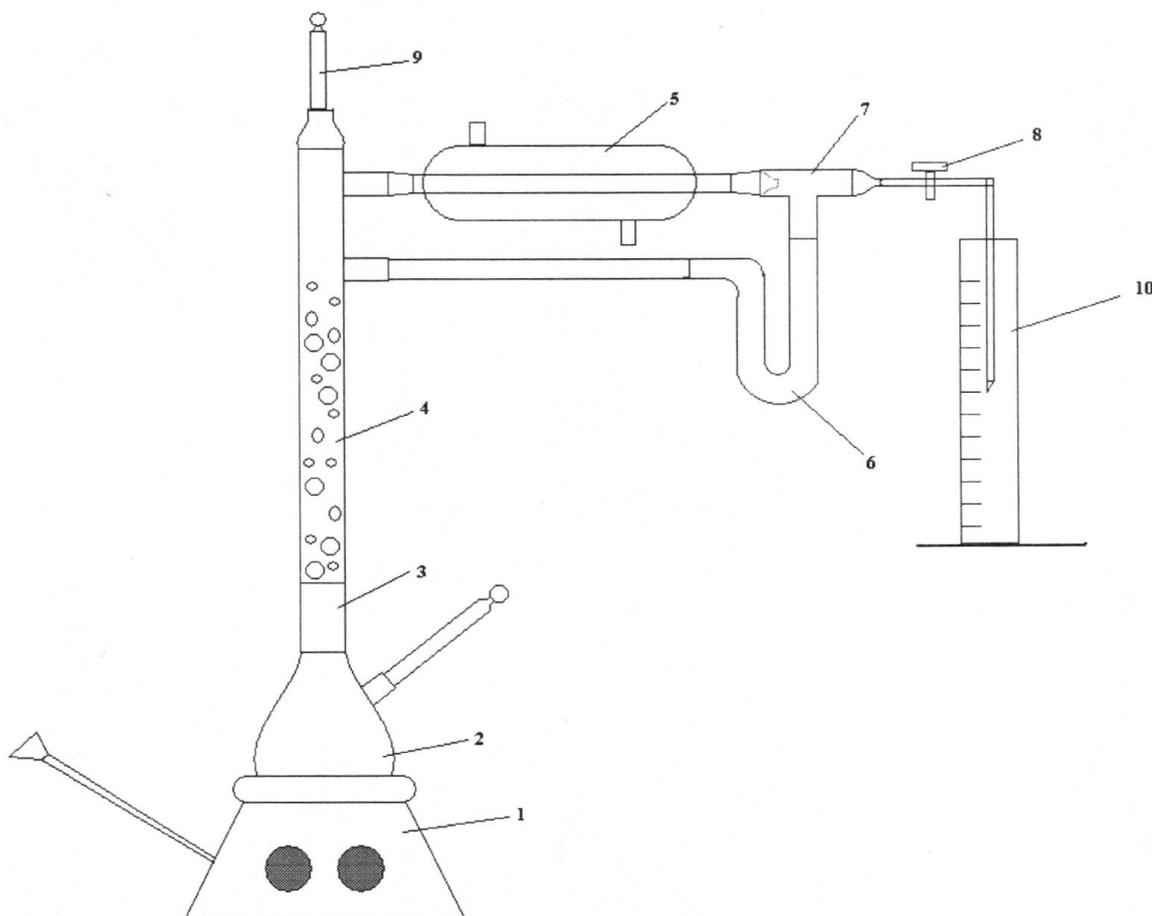


Рисунок 1 - Лабораторная установка для ректификации:

1 – колба нагреватель; 2 - куб колонны; 3 – переходник; 4 - колонна с насадкой; 5 - холодильник-конденсатор; 6 – гидрозатвор; 7 – тройник; 8 – кран; 9 – термометры; 10 - мерный цилиндр

### Методика проведения работ

В перегоночную колбу через воронку на  $2/3$  объема заливается перегоночная жидкость, с концентрацией  $X_f$  % масс, включается колба нагреватель, для улучшения кипения в колбу добавляют кусочки фарфора. Как только жидкость в колонне закипит - изменяют скорость нагрева. Для обеспечения оптимальной скорости перегонки температура нагревателя должна быть на  $30^\circ$  выше температуры кипения жидкости. Скорость перегонки не должна превышать одной капли дистиллята в 2 секунды. В холодильник подается холодная

вода в нижний отвод и отводится через верхний. Пока в гидрозатворе не накопится флегма и не будет поступать в колонну обратно, кран на сборе дистиллята в мерную колбу закрыт. После установления процесса ректификации (постоянной температуры на термометрах) открывают кран и набирают дистиллят для анализа, 30...50мл. затем колбонагреватель отключают, после прекращения кипения жидкости в колбе подачу воды в холодильник отключают. Кубовой остаток сливают, когда он остынет, и используют для проведения последующих испытаний. Результаты эксперимента заносят в таблицу.

### Обработка результатов

1. Определяем количество и состав исходной смеси. В цилиндр емкостью 200 мл. наливают смесь и спиртометром со шкалой от 0 до 50 % об. Определяем концентрацию при 20 °С.

По таблице в приложении для определения содержания этанола в водно-спиртовых растворах по показателю спиртометра берем концентрацию  $X_{f \text{ массов}}$ . При 20 °С и плотности раствора  $\rho_f$ .

Мерным цилиндром измеряем объем исходной смеси  $V_f$  л.

После выхода установки на стационарный режим отбираем  $V_d=200$  мл. дистиллята, определяем спиртометром концентрацию дистиллята  $X_d$ , % об. и температуру. По таблице в приложении определяем  $\bar{X}_{f \text{ масс}}$  % и плотность раствора и пересчитываем в  $X_{f \text{ мол}}$  % и  $X_{d \text{ мол}}$  - % по формуле:

$$X_f = \frac{\bar{X}_f / M_{\text{эм}}}{\bar{X}_f / M_{\text{эм}} + (1 - \bar{X}_f) / M_{\text{воды}}}, \quad (1)$$

$$X_d = \frac{\bar{X}_d / M_{\text{эм}}}{\bar{X}_d / M_{\text{эм}} + (1 - \bar{X}_d) / M_{\text{воды}}}. \quad (2)$$

2. Решаем материальный баланс колонны:  $G_f = V_f \rho$  кг;  $G_d = V_d \rho$  кг;  $G_w = G_f - G_d$  кг.

Концентрация спирта в кубовой жидкости равна:

$$\bar{X}_w = \frac{G_f \bar{X}_f G_d \bar{X}_d}{G_w} 100\%, \text{ масс.} \quad (3)$$

3. Диаграмма равновесия и рабочая линия процесса строится на основании справочных данных равновесных составах жидкости и пара строим кривую равновесия  $y^k=f(x)$  мол, %, рисунок 2, кривую температур  $t=f(x,y)$ , рисунок 3.

На диаграмму  $y^x=f(x)$ , рисунок 2 наносят рабочие линии для укрепляющей части колонны. Уравнение рабочей линии выражает зависимость между мольными концентрациями спирта в жидкости ( $x$ ) и пара ( $y$ ) по высоте колонны для укрепляющей части колонны

$$y = \frac{R}{K+1} x + \frac{x_d}{K+1}, \quad (4)$$

где  $K$  - флегмовое число, выражающее отношение мольных расходов флегмы и дистиллята.  $R=G_f/G_d$ .

Для построения рабочих линий выбираем флегмовое число.

При работе установки с возвратом сконденсированного пара в куб колонны, флегмовое число будет бесконечно большим и рабочая линия лежит на диагонали, число тарелок будет минимальным, рисунок 2.

При нормальной работе колонны определяем оптимальное флегмовое число:  $R_{opt}=1,3R_{min}+0,3$ .

Для определения оптимального флегмового числа определяют минимальное флегмовое число:

$$R_{min} = \frac{x_d - y_f^*}{y_f^* - x_f}, \quad (5)$$

где -  $y_f^*$  - равновесная концентрация спирта в паре по диаграмме  $y$ - $x$  на диагонали  $x_d=y_d$ ,  $x_w=y_w$ , (граница концентрации) на си абсцисс ( $y$ ) отмечают величину

$$B = \frac{x_B}{K+1}, \quad (6)$$

и строят ступени изменения концентрации  $n_{oy}$  (теоретическое число тарелок) рисунок 4.

Для определения высоты насадочной части колонны надо знать эквивалентную высоту единиц переноса  $h_{эКВ}$ , которую для данного опыта рассчитываем по формуле:

$$h_{oy} = \frac{H_{nac}}{n_{oy}}; \quad (7)$$

1. Рассматривают расход тепла на процесс перегонки по формуле:

$$Q_s = 1,05[G_d I_d + RG_d(i_d - c_d t_d) + G_w c_w t_w - G_f c_f t_f], \quad (8)$$

где  $G_d$ ,  $G_w$ ,  $G_f$  - количество дистиллята, кубового остатка и исходной смеси (из материального баланса);  $c_f$ ,  $c_w$ ,  $c_d$  - теплоемкости исходной смеси, кубовой жидкости и дистиллята;  $I_d$  - энтальпия дистиллята.

4. Определяем расход воды в дефлегматоре, кг:

$$G_B = \frac{RG_d r_d + G_d r_d}{c_B (t_{вых} - t_{вх})}, \quad (9)$$

где  $r_d$  - удельная теплота парообразования паров этилового спирта, кДж/кг.

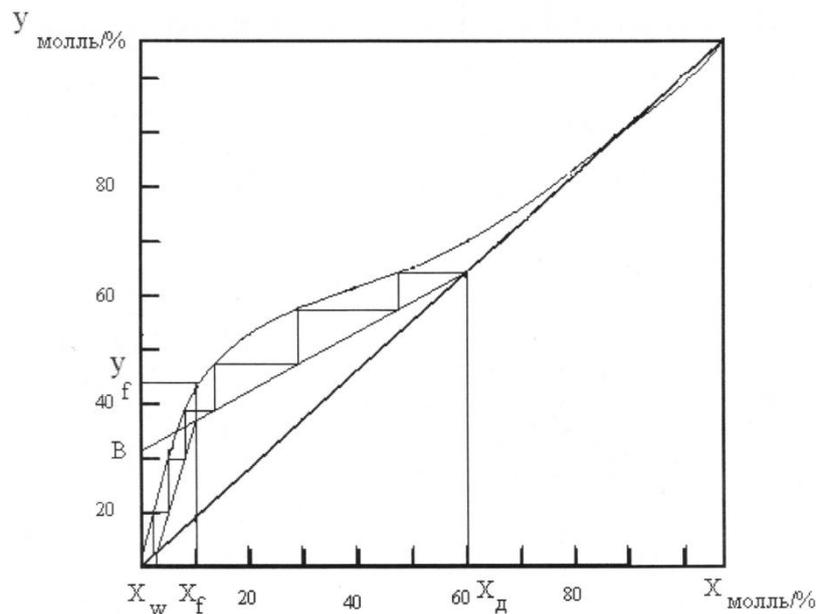


Рисунок 2 – Диаграмма равновесия x - y

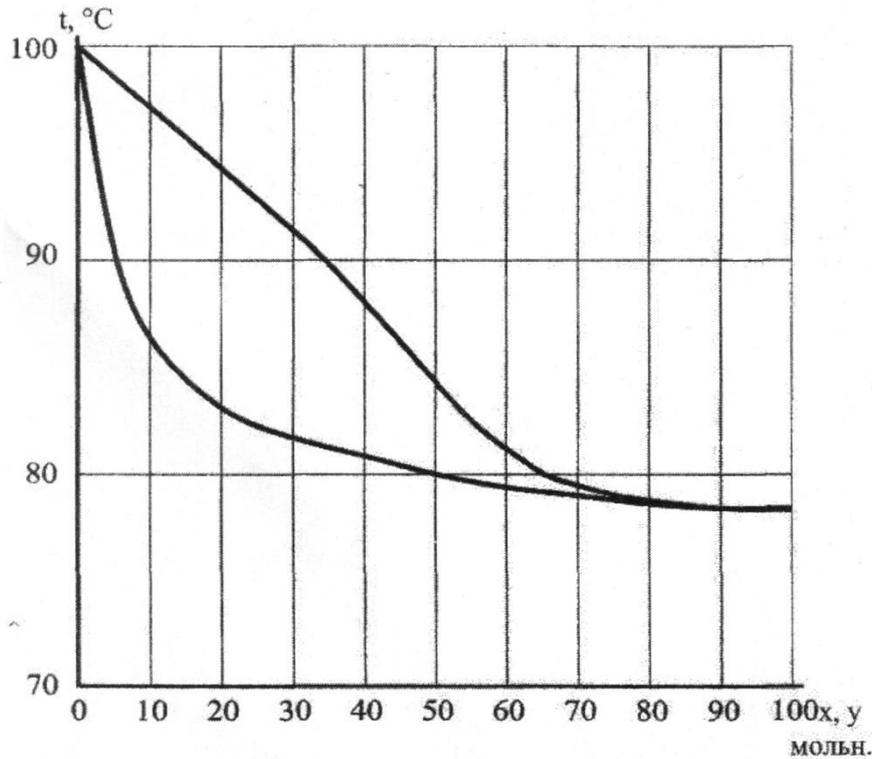


Рисунок 3 – Диаграмма  $t - x, y$

### Контрольные вопросы к защите работы

1. В чем заключается физическая сущность процесса ректификации ?
2. Что является движущей силой процесса ректификации ?
3. Для чего служит дефлегматор ?
4. Почему необходимо следить, чтобы температура охлаждающей воды, выходящей из дефлегматора, не была бы высокой ?
5. Что такое «барботаж» ?
6. Какие массообменные процессы происходят в насадке ректификационной колонны ?
7. Что такое КПД тарелки, от чего он зависит ?
8. Как изменить число флегмы в работающей колонне ?
9. Что надо сделать на работающей установке, чтобы увеличить скорость пара, проходящего через колонну ?
10. Что является основой при расчете ректификационной колонны ?
11. Как изменится на диаграмме  $x-y$  положение рабочей линии верхней части колонны, если при неизменной концентрации дистиллята увеличивается число флегмы ?

12. Как определить высоту насадочной части ректификационной установки ?
13. Определение общей высоты ректификационной колонны ?
14. Типы ректификационных колонн ?
15. Схема работы непрерывной ректификационной установки ?
16. Как определить диаметр колонны ?
17. Схема работы периодической ректификационной установки?
18. Определение теоретического числа ступеней (тарелок) в ректификационной колонне ?

## Библиографический список

### *Основная литература*

1. Кавецки Г.Д., Васильев В.В. «Процессы и аппараты пищевой технологии». М.: Колос, 2010. – с. 551.
2. Ларин В.А., Малахов Н.Н., Плаксинов Ю.В. «Процессы и аппараты пищевых производств». М.: Колос, 2008. – с. 350.
3. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова, Т.В. Борисова, КрасГАУ, - Красноярск, 2004. – с. 112.
4. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств. Массообменные процессы», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова. – КрасГАУ, - Красноярск, 2009. – с. 163.

### *Дополнительная литература*

1. Борисова Г.В. Основные свойства пищевого сырья, полуфабрикатов и продуктов. Справочное пособие. – КрасГАУ, - Красноярск, 2008. – с. 980.
2. Левин Б.Д., Ченцова Л.И., Шайхутдинова М.Н., Ушанова В.М. Процессы и аппараты химических и биологических технологий. Учеб. пособие для студентов химических специальностей вузов / под общ. ред. д – ра. хим. Наук С.М. Репяха. – Красноярск: Сибирский государственный университет, 2002. – с. 430.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского, 2 – е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, 1991. – с. 496.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов под ред. чл. – корр. АН России П.Г. Романкова. – 12- -е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – с. 576.

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ  
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**РЕКТИФИКАЦИЯ БИНАРНОЙ СМЕСИ**

*Методические указания к выполнению  
Лабораторных и практических работ*

Составители: Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров

Редактор