Досліди проводилися при атмосферному тиску. Для води, очищеної зворотнім осмосом велична критичного теплового потоку становила $q_{kp}=1,24\cdot10^6$ Вт/м², а для дистильованої води $q_{kp}=1,29\cdot10^6$ Вт/м². Такі результати узгоджуються з даними, наведеними в літературі [6].

Висновки

Обґрунтована методика експериментального дослідження щодо визначення критичних теплових потоків для різного типу рідин з урахуванням способу підготовки базової рідини. Проведена апробація запропонованої методки та експериментального стенда. Запропонована методика доволяє отримати результати з точністю 5–8 %

Література

- 1. Кузнецов Ю.Н. Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1989 269 с.: ил.
- 2. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи . Изд. 2-е, М., «Энергия», 1977.
- In Cheol Bang, Jacopo Buongiorno, Lin-Wen Hu and Hsin Wang. Measurements of key pool boiling parameters in nanofluids for nuclear applications // Journal of Power and Energy Systems. – vol. 2. – No 1, 2008. - pp. 340-351.
- 4. Xiang-Qi Wang and Arum S. Mujumdar A review on nanofluids part II: experiments and applications. Brazilian journal of Chemical Engineering – Vol. 25. – No. 04. – pp. 631-648
- 5. Das, Sarit Kumar; Choi, Stephen and Patel, Hriskesh. Heat Transfer in Nanofluids A review. Heat Transfer Engineering, 27: 10, 3-19.
- 6. Исаченко В.П. Теплопередача. Учебник для вузов, Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975.

УДК 66.048

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХОРВАТА И ШУБЕРТА ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛОВОГО СПИРТА ВЫСШИХ КАТЕГОРИЙ КАЧЕСТВА

Калишук Д.Г. канд. техн. наук, доцент, Саевич Н.П. канд. техн. наук Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Проведен анализ методик графического определения числа теоретических ступеней в колоннах четкой ректификации. Предложено усовершенствование метода Хорвата и Шуберта с целью его использования при расчетах колонн четкой ректификации азеотропных смесей. Приведены примеры расчетов по усовершенствованному методу.

The analysis of techniques of graphic definition of number of theoretical steps in columns of accurate rectification is carried out. Improvement of a method of the Horvath and Schubert for the purpose of its use at calculations of columns of accurate rectification azeotropes mixes is offered. Examples of calculations on an advanced method are resulted.

Ключевые слова: ректификация, этиловый спирт, азеотропная смесь, теоретическая ступень, дистиллят, рабочая линия, равновесная линия.

В химических и смежных производствах, в том числе и пищевых, для разделения жидких гомогенных смесей широко применяют ректификационные колонны. При использовании недостаточно достоверных методик технологических расчетов или ошибках проектировщиков данные аппараты могут вводиться в эксплуатацию как с заниженным, так и с завышенным числом ступеней взаимодействия фаз. Для достижения заданного качества разделения в первом случае колонны должны работать при сниженной производительности и увеличенных флегмовых числах, что влечет за собой увеличение удельного энергопотребления. Во втором случае при заданной производительности требуемое качество разделения достижимо за счет снижения флегмовых чисел. Однако это может быть недопустимо из-за нарушения нормальной гидродинамической обстановки В колонне [1]. Следовательно. усовершенствование методик определения числа ступеней взаимодействия фаз в ректификационных колоннах является актуальной задачей и способствует достижению минимальных приведенных затрат и себестоимости продукции при оптимальных удельных капитальных вложениях и текущих затратах.

В современной практике технологических расчетов ректификационных колонн, в том числе для разделения смеси «этиловый спирт – вода», при определении их высоты одним из наиболее

востребованных является метод, разработанный Мак-Кебом и Тиле [2]. Сущность его заключается в графическом определении числа теоретических ступеней взаимодействия фаз (ТСВФ). На х-удиаграмме строят рабочие линии и линию равновесия и в пределах изменения составов фаз от состава дистиллята до состава кубового остатка вписывают взаимосвязанные прямоугольные ступеньки. Число полученных ступенек соответствует числу ТСВФ.

В изложении последующего материала статьи используем обозначения, общепринятые при описании ректификации, а именно:

– х и у – молярные доли низкокипящего компонента (НК) в жидкой и паровой фазах соответственно, кмоль/кмоль;

- xW, xF и xD - молярные доли НК в кубовом остатке, исходной смеси и дистилляте, кмоль/кмоль;

- R - рабочее флегмовое число.

При расчетах колонн четкой ректификации (в них получают кубовый остаток с xW \rightarrow 0 либо дистиллят с xD \rightarrow 1 кмоль/кмоль) достаточно точное определение числа ТСВФ при использовании метода Мак–Кеба и Тиле затруднено. Рассмотрим это на примере переработки этилового спирта–сырца с содержанием не менее 88 % об. по ГОСТ Р 52193 [3] с получением готового продукта – этилового спирта марки «Люкс» с содержанием не менее 96,3 % об. по СТБ 1334 [4].

Согласно рис. 1, а на x–y–диаграмме небольшого формата невозможно выполнить точные построения и подсчитать ступеньки в области, прилегающей к значениям xD. Граничные составы для укрепляющей части колонны – питания xF \approx 0,660 кмоль/кмоль и дистиллята xD \approx 0,882 кмоль/кмоль пересчитаны из объемных концентраций с использованием данных, представленных в [3-5].

Э. Крелем [6] и другими авторами в таких случаях рекомендуется выполнять крупномасштабные х – у–диаграммы с длиной осей координат 2–3 м. Однако они трудоемки в построении и неудобны в использовании.

Известен также метод фрагментирования х–у-диаграммы. В крупном масштабе выполняют нечитабельный фрагмент построенной ранее мелкомасштабной диаграммы (см. рис. 1, б). При необходимости участок выделенного фрагмента также может быть последовательно увеличен. Однако такое решение осложняет восприятие информации и ее обработку, вызывает дополнительные неточности из-за погрешностей построения.



Рис. 1 – Определение числа ТСВФ по методуМак-Кеба и Тиле для колонны разделения смеси «этиловый спирт – вода» при хF = 0,660 кмоль/кмоль и хD = 0,882 кмоль/кмоль

Хорватом и Шубертом [7] для расчета числа ТСВФ в колоннах четкой ректификации был предложен следующий метод. Для каждой из частей колонны – исчерпывающей и укрепляющей – строят отдельно х–у-диаграммы с рабочей и равновесной линиями. Для построения диаграммы исчерпывающей части колонны используется система координат lgx – lgy, для укрепляющей – lg(1 – x) – lg(1 – y). Для улучшения восприятия информации диаграмму укрепляющей части колонны поворачивают на 180°. Число ТСВФ, также как и при использовании метода Мак-Кеба и Тиле, определяют по количеству

прямоугольных ступенек, вписанных между рабочими линиями и линией равновесия. В результате проведенного нами анализа доказано, что метод Хорвата и Шуберта также применим для расчетов колонн четкой ректификации в случаях, когда равновесие разделяемой смеси не подчиняется закону Рауля, и в логарифмических координатах линия равновесия не является прямой [8]. Однако при расчетах высоты колонн четкой ректификации азеотропных смесей данный метод не исключает возникновения на диаграммах плохо читаемых участков в областях близких к точке азеотропа.

Метод Хорвата и Шуберта по нашему мнению требует доработки в следующих случаях:

1) при разделении смесей с нижней точкой азеотропа и получении дистиллята состава $xD \rightarrow xa$ (см. пример x–y-диаграммы для смеси «этиловый спирт – вода» на рис. 2, а), где xa – молярная доля НК в азеотропной смеси, кмоль/кмоль;

2) при разделении смесей с верхней точкой азеотропа и получении кубового остатка состава xW → xa (см. пример x-y-диаграммы для смеси «вода – муравьиная кислота» на рис. 2, б).

В указанных случаях для построений проблемных участков диаграмм нами предлагается использовать величины фиктивных долей НК. При выполнении задачи, упомянутой в п. 1, фиктивные доли НК в жидкой и паровой фазах х' и у' соответственно вычисляются следующим образом:

$$\mathbf{x}' = \mathbf{x}/\mathbf{x}\mathbf{a};\tag{1}$$



а – ха = 0,894 кмоль/кмоль, смесь и условия разделения по рис. 1; б – смесь «вода – муравьиная кислота» (ха = 0,439 кмоль/кмоль) при хW = 0,445 кмоль/кмоль, хF = 0,685 кмоль/кмоль.

Рис. 2. – Определение числа ТСВФ по методу Хорвата и Шуберта

Если выполняется задача, упомянутая в п. 2, то х' и у' рассчитывают по формулам

$$x' = (x - xa)/(1 - xa);$$
 (3)

$$y' = (y - xa)/(1 - xa);$$
 (4)

Порядок выполнения действий при определении числа ТСВФ по нашему методу следующий. Для разделяемой системы определяют условия равновесия в виде зависимости $y^* = f(x)$, где $y^* - молярная$ доля НК в паровой фазе в условиях равновесия, кмоль/кмоль. Далее при заданных значениях xW, xF и xD по известным методикам [1,2,6] рассчитывают R и получают уравнения рабочих линий исчерпывающей и укрепляющей частей колонны.

Построив в системе координат х–у равновесную и рабочие линии, выявляют участок, для которого определение числа ТСВФ проблематично, и в пределах него для ряда значений состава жидкости и пара производят пересчет по формулам (1) и (2) или (3) и (4). В результате получают координаты точек для

построения равновесной и рабочей линий укрепляющей (исчерпывающей) части колонны в модифицированном виде.

Уравнение укрепляющей части колонны при выполнении задачи по п. 1 приобретает вид

$$y' = x' R/(R+1) + xD'/(R+1);$$
 (5)

где xD' — фиктивная доля НК в дистилляте.

При выполнении задачи по п. 2 уравнение исчерпывающей части колонны представляется:

$$y' = x' (R + f)/(R + 1) + xW' (1 - f)/(R + 1);$$
 (6)

где f — относительный молярный расход исходной смеси;

xW' — фиктивная доля НК в кубовом остатке.

Используя данные для построения модифицированной линии равновесия и расчетные точки, полученные с помощью уравнения (5) или (6), строят графические зависимости в системе координат lg(1 - x') - lg(1 - y') или lgx' - lgy'. В дальнейшем число ТСВФ определяется таким же образом, как описано в работе [7], т. е. на требуемом участке диаграммы между линиями вписываются прямоугольные ступеньки.

Примеры графического определения числа ТСВФ по доработанному нами методу Хорвата и Шуберта представлены на рис. 3. Сопоставление их результатов с результатами расчетов по методу Мак-Кеба и Тиле показало незначительное, не более 3%, отклонение. Однако при использовании метода Мак-Кеба и Тиле диаграммы пришлось многократно фрагментировать и увеличивать в масштабе.



а — укрепляющая часть колонны, смесь и условия разделения по рис. 1; б — исчерпывающая часть колонны, смесь и условия разделения по рис. 2, б.

Рис. 3 – Определение числа ТСВФ по разработанному авторами методу

Выводы

В результате исследований авторами установлено:

 применение метода Хорвата и Шуберта невозможно или затруднительно без доработки при расчетах колонн четкой ректификации азеотропных смесей;

– при определении числа ТСВФ в колоннах четкой ректификации азеотропных смесей, если xD \rightarrow xa (смеси с нижней точкой азеотропа, в т.ч. «этиловый спирт–вода») и xW \rightarrow xa (смеси с верхней точкой азеотропа), следует производить построения по методу Хорвата и Шуберта с использованием значений фиктивных долей НК в фазах и продуктах разделения;

 предложенная авторами доработка метода Хорвата и Шуберта применительно к четкой ректификации азеотропных смесей не снижает точность расчетов и уменьшает по сравнению с методом Мак-Кеба и Тиле трудоемкость графических построений.

Литература

- 1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. М.: Химия, 1973. 751 с.
- 2. Александров, И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования / И.А. Александров. М.-Л.: Химия, 1965. 308 с.
- 3. ГОСТ Р 52193-2003. Спирт этиловый-сырец из пищевого сырья. Технические условия.
- 4. СТБ 1334-2003. Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия.
- 5. Справочник работника спиртовой промышленности / П.В. Рудницкий, А.Д. Коваленко, З.А. Раев и др. Киев: Техника, 1972. 384 с.
- 6. Крель, Э. Руководство по лабораторной перегонке: Пер. с нем. / Под ред. В.М. Олевского / Э. Крель. М.: Химия, 1980. 520 с.
- 7. Horvath, J.P. Distillation Stages Graphically / J.P. Horvath, R.F. Schubert / Chem. Eng. 1958. –№10.– P. 129–132.
- Калишук, Д.Г. Применение метода Хорвата и Шуберта при расчетах колонн четкой ректификации азеотропных смесей / Д.Г. Калишук, Н.П. Саевич, Е.Н. Слабко // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. – 2009. – Вып. XVII. – С. 156–158.

УДК 615.322:66.061.34

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Зайцев О. І. д-р фарм. наук, професор, Бойко М. М. ст. лаборант Національний фармацевтичний університет, м. Харків

У статті розглянуті питання теоретичних засад процесу екстрагування біологічно активних речовин з рослинної сировини на прикладі представлення процесу у трикутній діаграмі, розрахунку коефіцієнту недовитягання речовин з рослинної сировини та показан можливий підхід до знаходження отимального часу екстрагування через показник питомої продуктивності при застосуванні ультразвуку для інтенсифікації процесу.

The article is dedicated to theoretical bases process of extraction biological substances from raw materials an example triangle diagram, coefficient subextraction of substances from raw materials and represent feasible way for estimate of optimal time extraction by coefficient relative productivity in process of extraction with ultrasound.

Ключові слова: екстрагування, біологічно активні речовини, рослинна сировина, теоретичні засади.

Сучасна харчова та фармацевтична промисловість у виробництві своєї продукції використовує не тільки синтетичні компоненти але й природні виділені здебільшого з рослин чи мікроорганізмів, оскільки природні компоненти мають ряд переваг перед синтетичними: більшість з них менш токсичні, можуть органічно вливатися у метаболізм людини з найменшою шкодою для нього, діють м'яко і їх можна споживати тривалий час.

Однак незважаючи на велике різномаїття сучасних технологій виділення біологічно активних речовин з рослинної сировини, теоретичні засади до описання процесу екстрагування ще мало розвинені. Мета цієї роботи освітити деякі питання стосовно, як теоретичних засад процесу екстрагування так і технології її організації, на прикладі одержання спирто-водних витяжок з трави кропиви собачої, трави хвоща польового та листя берези бородавчастої за допомогою такого фактору інтенсифікації як ультразвук.

Процес екстрагування підпорядковується законам масообміну, а отже повинен характеризуватися й коефіцієнтом розподілу компонентів між фазами (екстрагентом–рідка фаза, та поверхнею скелету рослинної сировини – тверда фаза), який залежить від фізико–хімічних властивостей як компоненетів, скелету рослинної сировини так і екстрагенту, температури та ін.

Існуючий підхід до розрахунку процесу екстрагування (розрахунок кількості ступенів, або кількості екстрагенту та ін.) має суттєві розбіжності які суперечать загальній теорії масообміну. Як правило, розрахунок процесів екстракції проводять графічними способами. На рис. 1 показана графічна схема розрахунку процесу екстракгування, яка пропонується наприклад авторами [1, 2].