УДК 663.55

MODELING OF THE DISTRIBUTION OF PERCENTAGE OF ETHANOL COMPOSITION OVER THE PLATES OF THE IMPURITIES CONCENTRATION COLUMN

O. Shevchenko, O. Bedryk*National University of Food Technologies***V. Maleta***Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia*

Key words:

cyclic distillation,
impurity concentration
column,
parent fraction concentrate,
hydroselection,
mathematical modeling

Article history:

Received 15.10.2019

Received in revised form

16.11.2019

Accepted 10.12.2019

Corresponding author:

tmipt@ukr.net

ABSTRACT

The paper deals with the modeling of the distribution of ethanol concentrations on the plates of the impurity concentration column under different conditions of its operation. First of all, the efficiency of the impurity extraction is affected by the concentration of ethanol. With decreasing in ethanol concentration, the volatility of the bulk of impurities increases. On the other hand, a considerable dilution of alcohol chases with water for hydroselection leads to energy overrun in their further processing. Thus, it is important for the industry to optimize the distribution of ethanol concentrations across the plates of the column to achieve the maximum effect of impurity extraction at a fixed value of the ethanol concentration in the column cube.

Mathematical modeling is used as an optimization tool, and the object of modeling is the column with cyclic mode of operation as the most efficient ones. The calculations showed that the place of supply of hydro-selection water significantly changes the pattern of ethanol distribution. Three main variants of work of the column were considered: water and phlegm on the first top plate, water on the first top plate and phlegm on the lower plates, water on a feeding plate. For all options, there are concentration barriers over the height of the column in the concentration or exhaust parts. Concentration smoothing over the column is possible in case of water redistribution between the feeding and the top of the column. Flow ratios are determined by calculating a mathematical model for given input parameters. It was determined that the optimum conditions for the removal of impurities of both main and intermediate nature creates a regime of water supply to the first top plate and feeding, and phlegm to lower than the first plate.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-14

© О. Ю. Шевченко, О. В. Бедрик, В. М. Малета, 2019

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПРОЦЕНТНОГО СКЛАДУ ЕТАНОЛУ ПО ТАРІЛКАХ КОЛОНИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШОК

О. Ю. Шевченко, д-р. техн. наук

О. В. Бедрик

Національний університет харчових технологій

В. М. Малета, канд. техн. наук

Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia

У статті розглянуто моделювання розподілу концентрацій етанолу по тарілках колони концентрації домішок при різних умовах її роботи. З'ясовано, що передусім на ефективність вилучення домішок впливає концентрація етанолу. Зі зменшенням концентрації етанолу легкість основної маси домішок збільшується. З іншого боку, значне розбавлення спиртових погонів водою для гідроселекції призводить до перевитрати енергії в подальшій їх переробці. Таким чином, для промисловості важливим є оптимізація розподілу концентрацій етанолу по тарілках колони з метою максимального ефекту вилучення домішок при фіксованому значенні концентрації етанолу в кубі колони. Як інструмент оптимізації використано математичне моделювання, а об'єктом моделювання є колони з циклічним режимом роботи як найбільш ефективні. Проведені обчислення показали, що місця подачі в колону гідроселекційної води суттєво змінюють картину розподілу етанолу. Співвідношення потоків визначалось шляхом розрахунку поведінки математичної моделі для заданих вхідних параметрів.

Ключові слова: циклічна дистиляція, колона концентрації домішок, концентрат головної фракції, гідроселекція, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Стабільне виробництва високоякісного харчового спирту передбачає послідовне з'єднання між собою в брагоректифікаційну установку декількох основних (бражна, епюраційна, ректифікаційна) та додаткових колон (кінцевої очистки, концентрації домішок, сивушної), які забезпечують відбір супутніх домішок із зон їх максимального концентрування. Найбільш різноманітні домішки головного характеру. Очищення етанолу від цих домішок відбувається в однотипних колонах: епюраційній та колоні концентрації домішок (ККД). Всі закономірності, отримані по одній з них, можливо перенести на іншу [1].

Останнім часом у спиртовій галузі поширились тенденції поглиблення очистки етанолу. Для цього, збільшують подачу води на гідроселекцію в епюраційну колону, що зменшує концентрацію епюрату. Це, у свою чергу, порушує розподіл проміжних домішок у ректифікаційній колоні, ускладнюючи їх відбір. Використання ККД також покликане покращити якість спирту та додатково збільшити його вихід на 3—4% за рахунок отримання концентрату головної фракції (ГФ).

Успішне виведення домішок пов'язане з інформацією їх поведінки при ректифікації. У своїй книзі П. С. Циганков [1] описав залежність розподілу концентрацій етанолу по тарілках епюраційної колони від кількості води, поданої на гідроселекцію. При цьому вода подавалась в одне місце, на верхню тарілку колони, а концентрація епюрату не була фіксованою, та зменшувалась обернено пропорційно кількості поданої води.

Мета дослідження: визначити оптимальні умови вилучення домішок головного характеру за рахунок рівномірного розподілу концентрацій етанолу по всій висоті колони для фіксованого значення концентрації кубової рідини.

Матеріали і методи. Враховуючи однотипність епіюраційної колони та ККД як об'єкт досліджень було взято останню, що пов'язано з широким діапазоном демонстрації можливостей запропонованої методики за рахунок більшої концентрації живлення. Вибрана колона працює в режимі циклічної дистиляції. Такі колони вже використовуються в промисловості і забезпечують найбільшу ефективність розділення компонентів [2]. На основі математичної моделі для циклічних процесів В. М. Малетого [3] було створено програму розрахунку розподілення концентрації спирту по тарілках колони. Ми використали цю модель. Для моделювання обрали ККД спиртового заводу продуктивністю 3000 дал/добу з вхідними даними: концентрація живлення 90% об, концентрація кубової рідини 15% об., витрата пари 200 кг/год, кількість тарілок 15 шт., подача живлення на 8 тарілку у кількості 210 л/год, витрата води на гідроселекцію 0,86 м³/год, обігрів колони — відкритий.

З огляду на схему потоків в епіюраційній колоні, описану П. С. Циганковим, розглянуто три основні можливі варіанти подачі води на гідро селекцію. Як опцію використано додаткове розбавлення живлення:

- вода W та флегма F подаються на першу згори тарілку (рис. 1а);
- вода подається на першу згори тарілку, а флегма — на нижчі тарілки (рис. 1б) [4];
- вода подається на тарілку живлення, а флегма — на першу зверху тарілку (рис. 1в).

Схема розподілу потоків у колоні зображена на рис. 1.

Рис. 1. Схема розподілу потоків у ККД: а) вода та флегма подаються на першу згори тарілку; б) вода — на першу згори тарілку, а флегма — на нижчі тарілки; в) вода — на тарілку живлення, а флегма — на першу згори тарілку. Умовні позначення: 1 — колона; 2 — кип'ятильник; 3 — дефлегматор; D — концентрат; L — живлення; F — флегма; E — кубова рідина; G — пара; W — вода

Результати розрахунків концентрації етанолу по тарілках ККД зображено на рис. 2, для варіантів потоків — на рис. 1.

Рис. 2. Графіки розподілу концентрації спирту по тарілках ККД:

- а) вода та флегма подаються на першу згори тарілку;
- б) вода — на першу згори тарілку, а флегма — на нижчі тарілки;
- в) вода на тарілку живлення, а флегма — на першу згори тарілку

На графіках (рис. 2) видно, що місце вводу води суттєво впливає на розподіл концентрації спирту по висоті колони та, відповідно, на умови вилучення домішок. Із графіків видно наявність концентраційних бар'єрів по тарілках колони. На рис. 2а та рис. 2б концентраційний бар'єр зосереджений у вичерпній частині колони. На рис. 2в концентраційний бар'єр зосереджений у концентраційній частині колони. При такому розподілі гідроселекційної води ми маємо різні умови вилучення домі-

шок (різна концентрація етанолу) для різних частин колони, що негативно впливає на загальний процес вилучення. Вирівнювання концентрацій етанолу по висоті колони можливе у випадку перерозподілу води між живленням та першою зверху тарілкою. Моделюванню підлягали два режими роботи колони:

- режим I: подача води на 15 тарілку та розбавлення живлення на 8 тарілці при подачі флегми на 15 тарілку;

- режим II: подача води на 15 тарілку та розбавлення живлення на 8 тарілці при подачі флегми на 12 тарілку [4].

Вхідні параметри розрахунку ККД не змінювали.

Схема розподілу потоків у колоні, що моделюється, зображена на рис. 3.

Рис. 3. Схема розподілу потоків у ККД циклічного режиму: а) режим I; б) режим II.

Умовні позначення: 1 — колона; 2 — кип'ятильник; 3 — дефлегматор;

D — концентрат; L — живлення; F — флегма; E — кубова рідина; G — пара; W — вода

Результати досліджень. Розподіл концентрації етанолу в режимі I роботи ККД зображено на рис. 4а—4а. Подача води на 15 тарілку та розбавлення живлення на 8 тарілці при подачі флегми на 12 тарілку в режимі II зображено на рис. 4б—4б. Гідроселекційною водою розбавляли живлення до 30, 35 та 33% об. відповідно.

Рис. 4а. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колони, живлення 30% об.

Рис. 46. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колонії, живлення 30% об.

Рис. 5. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колонії, живлення 35% об.

Рис. 6. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колони, живлення 33% об.

На рис. 4—6 видно, що місце подачі води на гідроселекцію та її розподілення між точками вводу суттєво впливає на концентрації спирту.

Висновки. Дана технологія гідроселекції надає можливість створити оптимальні умови вилучення домішок як головного, так і проміжного характеру за рахунок вирівнювання концентрації етанолу по всій висоті колони. Виходячи із положення, що легкість основної маси домішок збільшується із зменшенням концентрації етанолу, перевага надається режиму II, оскільки концентрація на тарілках верхньої та нижньої частин колони менша, ніж на середніх тарілках.

Для досліджуваних умов оптимальною є концентрація живлення 33% об. з розподіленням води на гідроселекцію в пропорції: живлення — 42%, 15 тарілка — 58%. При зміні будь-якого із вхідних параметрів оптимальне значення повинно бути перераховано.

ЛІТЕРАТУРА

1. Цыганков П. С. Ректификационные установки спиртовой промышленности / П. С. Цыганков. — М. «Легкая и пищевая пром-сть», 1984. — 336 с.

2. Булий Ю. В. Оптимизация работы колонн по извлечению и концентрированию органических примесей этилового спирта в режиме циклической ректификации / Ю. В. Булий, П. Л. Шиян, А. П. Дмитрук // Пиво и напитки. — 2012. — № 6. — С.43—45.

3. Малета В. Н. Интенсификация процесса массообмена при циклической работе аппаратов пищевых производств: дис... канд. техн. наук: 05.18.12 / В. Н. Малета; Киев. технол. ин-т пищ. пром-сти. — К., 1988. — 222 с.

4. Патент України на винахід № 86901 МПК В01Д 3/30, В01Д 3/14. Спосіб епюрації / Малета В. М., Таран В. М., Малета Б. В., Малета О. В. — № а 2007 14501; заяв. 24.12.2007; опубл. 25.05.2009. — Бюл. № 10.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЦЕНТНОГО СОСТАВА ЭТАНОЛА ПО ТАРЕЛКАМ КОЛОННЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ

А. Е. Шевченко, О. В. Бедрик

Национальный университет пищевых технологий

В. Н. Малета

Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia

В статье рассмотрено моделирование распределения концентраций этанола по тарелкам колонны концентрации примесей при различных условиях ее работы. Определено, что, в первую очередь, на эффективность извлечения примесей влияет концентрация этанола. С уменьшением концентрации этанола летучесть основной массы примесей увеличивается. С другой стороны, значительное разбавление спиртовых погонов водой для гидроселекции приводит к перерасходу энергии в дальнейшей их переработке. Таким образом, для промышленности важно оптимизировать распределение концентраций этанола по тарелкам колонны с достижением максимального эффекта удаления примесей при фиксированном значении концентрации этанола в кубе колонны. В качестве инструмента оптимизации используется математическое моделирование, а объектом моделирования являются колонны с циклическим режимом работы как одни из самых эффективных. Проведенные расчеты показали, что место подачи гидроселекционной воды существенно меняет картину распределения этанола. Соотношение потоков определялось путем расчетов математической модели для заданных входных параметров.

Ключевые слова: *циклическая дистилляция, колонна концентрации примесей, концентрат главной фракции, гидроселекция, математическое моделирование.*