

IMPROVING THE OPERATING CHARACTERISTICS OF DISTILLATION AND RECTIFICATION PLANTS THROUGH THE USE OF TECHNOLOGY-DRIVEN RECTIFICATION

Y. Buliy, P. Shiyan, A. Kuts

National University of Food Technologies

A. Dmitruk

TEASER, LLC

Key words:

*Distillation
Ethyl alcohol
Controlled cycles
Rectification
Phase equilibrium*

Article history:

Received 18.01.2017
Received in revised form
09.02.2017
Accepted 24.02.2017

Corresponding author:

Y. Buliy
E-mail:
ybuliy@yandex.ua

ABSTRACT

The authors propose the energy-saving driven rectification technology. The research of its efficiency for the processes of distillation of alcohol-containing fractions and distillation of mature distillate has been conducted. The technological parameters of experimental acceleration and alcohol distillation columns have been determined. The advantage of the proposed technology is that it involves maximum extraction of main impurities; the degree of extraction of alcohol fusel oil and methanol has been increased by 60% and the ratio of their concentration, by 52...69%. By increasing the delay of mash distillation on plates up to 12 seconds, the concentration of industrial ethanol in the distillate is increased by 28%. Thus, the unit cost of the heating steam is reduced by 40%.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРОВАНОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ

Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц

Національний університет харчових технологій

А.П. Дмитрук

ТОВ «ТІСЕР»

У статті запропоновано енергозберігаючу технологію керованої ректифікації. Досліджено її ефективність для процесів розгонки спиртовмісних фракцій і перегонки зрілої бражки. Визначено технологічні показники роботи експериментальних розгінної та бражної колон. Встановлено переваги запропонованої технології: в процесі розгонки відбувається максимальне вилучення головних домішок, ступінь вилучення спиртів сивушиного масла та метанолу підвищується на 60%, кратність їх концентрування на 52...69%. При збільшенні часу затримки бражки на тарілках до 12 с концентрація

етанолу в бражному дистиляті збільшується на 28%. При цьому питомі витрати гріючої пари скорочуються на 40%.

Ключові слова: бражка, етиловий спирт, контрольовані цикли, ректифікація, фазова рівновага.

Постановка проблеми. Одним із найбільш енергоємних процесів у переробних галузях агропромислового комплексу є виробництво спирту з крохмалевмісної сировини та його складова частина — процеси перегонки бражки і ректифікації спирту. З метою підвищення експлуатаційних і технологічних характеристик брагоректифікаційних установок (БРУ) зусилля дослідників направлені на створення технологій та обладнання нового покоління з максимально високими енерго- й ресурсозберігаючими характеристиками.

На більшості спиртових заводах для запобігання втрат спирту з бардою бражні колони експлуатують з коефіцієнтом надлишку пари 1,2...1,25. При цьому витрата пари на перегонку збільшується на 13...15%. Збільшення питомих витрат гріючої пари в бражній колоні призводить до зменшення концентрації спирту в бражному дистиляті та підвищених його витрат у спиртовій колоні. При зменшенні міцності бражного дистиляту від 50 до 30% об. флегмове число в спиртовій колоні збільшується на 7,7%, настільки ж збільшуються і витрати гріючої пари.

Концентрація спирту в бражному дистиляті впливає на витрату пари в спиртовій колоні. Із збільшенням концентрації спирту в бражному дистиляті до 60 % ваг. витрата пари на спиртову колону зменшується на 12...15%. При наявності в БРУ розгінної колони відбір головної фракції доцільно збільшити від 5 до 8...10%, при цьому виникає можливість збільшення кількості тарілок у відгінній частині епюраційної колони і таким чином зменшується кількість пари на епюрацію. Ефективним заходом як для зменшення енерговитрат на епюрацію, так і для покращення якості спирту є збільшення загальної кількості тарілок від 40 до 48...50 шт.

Висока енергоємність спиртової колони викликає необхідність пошуку шляхів її енергетичної оптимізації. Із підвищенням концентрації ректифікованого спирту від 96,0 до 96,1% об. питома витрата пари збільшується на 0,5 кг/дал, тоді як при підвищенні концентрації від 96,4 до 96,5% об. — вже на 4,0 кг/дал [1].

Недостатня кількість і невисока ефективність відомих контактних пристроїв призводять до підвищених витрат гріючої пари та зниження ефективності процесів перегонки спиртової бражки і ректифікації етилового спирту. В типових БРУ, в яких рух пари і рідини відбувається в стаціонарному режимі, час перебування рідини на тарілках недостатній для встановлення фазової рівноваги. Як наслідок, для досягнення ефективних експлуатаційних характеристик БРУ витрати гріючої пари необхідно збільшувати [2].

Одним із факторів, що дають змогу інтенсифікувати масообмін між рідиною і парою, підвищити ступінь очистки ректифікованого спирту від супутніх домішок, а також скоротити питомі витрати пари, є використання нестационарного (циклічного) режиму роботи БРУ, а також розробка кон-

струкції ректифікаційного обладнання, що забезпечує роздільний рух парової і рідинної фаз по тарілках колон без переривання їх подачі в колону. Циклічний режим передбачає контрольовані затримки рідини на тарілках колони до моменту досягнення рівноважного стану фаз. Інтервал рідинної затримки залежить від якісного складу спиртовмісних фракцій, які подають на тарілку живлення, та їх кількості і визначається експериментально.

Ступінь відхилення системи від рівноваги залежить від різниці робочих і рівноважних концентрацій компонентів у парі та рідині. На теоретичних тарілках ця різниця наближається до нуля. В реальних умовах її зменшення дає змогу збільшити рушійну силу масообміну, підвищити роздільну здатність ректифікаційних колон, ступінь вилучення і кратність концентрування легких домішок, якість ректифікованого спирту, скоротити питому витрату гріючої пари, а також знизити вартість обладнання завдяки зменшенню його металоємності [3].

Відомі вітчизняні ректифікаційні установки циклічної дії не знайшли широкого практичного використання. Аналіз отриманих результатів досліджень дав змогу виявити ряд специфічних особливостей їхньої роботи (як позитивних, так і негативних). Зокрема, було доведено, що роздільний рух фаз по колоні надає можливість інтенсифікувати масообмін між рідиною і парою за рахунок одноразової зміни рідинної затримки на тарілках і скоротити витрату гріючої пари до 40% порівняно з типовими колонними апаратами, що працюють у стаціонарному режимі. Однак через відсутність масообміну в період переривання подачі пари для надходження рідини на тарілку і в момент її переливу по тарілках колони ефективність розділення спиртовмісних фракцій знижується [4].

Мета статті: підвищити ефективність масообміну між рідиною і парою в процесах перегонки бражки й ректифікації етилового спирту, ступінь вилучення та кратність концентрування ключових органічних домішок спирту в процесі розгонки спиртовмісних напівпродуктів і побічних продуктів брагоректифікації; підвищити концентрацію етилового спирту в бражному дистиляті та знизити енергоємність колонного обладнання за рахунок використання технології керованих циклів ректифікації.

Виклад основних результатів дослідження. Для вирішення поставленого завдання співробітниками ТОВ «Техінсервіс-процес» та кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства була запропонована технологія ректифікації, що передбачає проведення контрольованих циклів затримки і синхронного переливу рідини по тарілках колони за рахунок додатково встановлених клапанів на рухомих тягах по всій її висоті, зв'язаних з приводними механізмами (пневмоциліндрами), дія яких відбувається згідно із заданим алгоритмом та програмою контролера і не залежить від режиму подачі гріючої пари в кубову її частину. Спосіб передбачає перелив рідини у два послідовних етапи, які повторюються періодично у часі почергово. На першому етапі рідина синхронно переливається з кожної непарної тарілки на кожну наступну парну тарілку; на другому етапі — з кожної парної тарілки на кожну наступну непарну тарілку [5; 6]. Причому на кожному етапі перелив

може здійснюватися за один або за два прийоми залежно від ступеня відновлення поверхні міжфазового контакту (рис. 1).

На рис. 1а схематично представлено повний або одноразовий спосіб переливу, згідно з яким переливні отвори парних або непарних тарілок залишаються відкритими до моменту повного синхронного переливу рідини з верхніх на суміжні з ними нижні тарілки по всій висоті колони. На рис. 1б схематично показано роздільний або дробовий спосіб, який відбувається за два прийоми. Для його здійснення час переливу скорочують удвічі. Таким чином рідину розділяють на дві частини, після чого рухливі клапани перекривають переливні отвори парних або непарних тарілок, відбувається затримка рідини в заданому інтервалі часу, після завершення якої виконується її остаточний перелив [7].

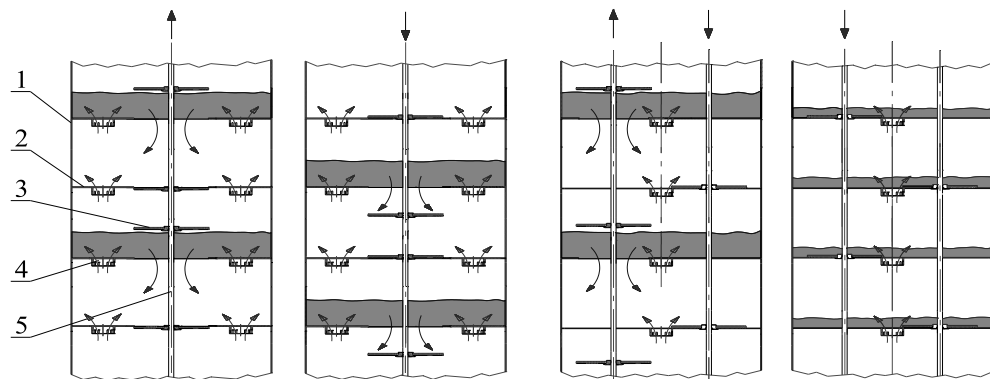


Рис. 1. Способи переливу рідини в умовах контрольованих циклів ректифікації:

1 — корпус ректифікаційної колони; 2 — тарілка; 3 — клапан; 4 — контактний елемент; 5 — рухома тяга

Дослідження запропонованої технології проводилися у виробничих умовах ДП «Чуднівська філія Житомирського лікєро-горілочного заводу». Завдання дослідження полягало в тому, щоб визначити ступінь вилучення й кратність концентрування основних груп домішок спирту в процесі розгонки, а також встановити питомі витрати грючої пари в умовах типової та керованої ректифікації.

Для вирішення поставленого завдання експериментальна розгінна колона діаметром 426 мм була оснащена 30 ситчастими тарілками з діаметром отворів 2,4 мм. Відстань між тарілками дорівнювала 300 мм, живий перетин тарілки — 5,5%. У корпусі колони були встановлені рухомі тяги з клапанами, які по чергово відкривали та закривали переливні отвори парних і непарних за порядком розташування тарілок відповідно до заданого алгоритму. Тяги були з'єднані з приводним механізмом (стандартними пневмоциліндрами типу DNT). Крім того, колона була додатково оснащена мікропроцесорною пневматикою фірми FESTO і сучасними комп'ютерно-інтегрованими засобами. Управління клапанами і роботою пневмоциліндрів, контроль технологічних параметрів (температури, тиску) здійснювався за допомогою автоматичних датчиків, сигнал від яких передавався на мікропроцесорний контролер.

Ступінь вилучення (α) і кратність концентрування (β) летких домішок визначали за формулами:

$$\alpha = \frac{X_M}{X_O}; \beta = \frac{X_D}{X_M},$$

де X_M , X_D , X_O — концентрація домішок спирту на тарілці живлення, у дистилляті (концентраті естеро-сивушному — КЕС) і кубовій рідині відповідно, мг/дм³.

Результати досліджень наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Ступінь вилучення (α) і кратність концентрування (β) органічних домішок спирту в умовах типової та керованої ректифікації

Найменування групи домішок	Концентрація, мг/дм ³			α	β
	живлення	кубова рідина	КЕС		
етанол, видима концентрація, % об.	82,0	5,0	68,0	16,4	
<i>Типова ректифікація</i>					
альдегіди	605,0	7,0	10235	86,4	16,9
естери	637,7	8,0	13467	79,7	21,1
сивушне масло	27307,9	1293,0	272626	21,1	9,98
метанол, % об.	0,026	0,0016	1,75	16,2	67,3
<i>Керована ректифікація</i>					
альдегіди	605,0	сліди	13591,2	∞	22,5
естери	637,7	сліди	17905,2	∞	28,1
сивушне масло	27307,9	793,0	462079	34,4	16,9
метанол, % об.	0,026	0,0010	2,66	26,0	102,3

Аналіз експериментальних даних показав, що при проведенні процесу розгонки в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини при безперервній подачі гріючої пари альдегіди й естери (головні домішки) вилучаються максимально, ступінь вилучення (α) вищих спиртів сивушного масла (верхніх проміжних домішок) і метанолу збільшується на 60%. При цьому кратність концентрування (β) головних домішок підвищується на 33%, вищих спиртів — на 69%, метанолу — на 52%.

Встановлено, що при роботі розгінної колони в режимі керованої ректифікації витрати гріючої пари скорочуються на 40% порівняно з типовими установками і становлять 11...13 кг/дал абсолютного алкоголю (а.а.), введеного на тарілку живлення. Скорочення витрати пари відбувається за рахунок зменшення живого перетину тарілок, а також збільшення інтервалу затримки рідини до моменту досягнення рівноважного стану фаз.

Подальші дослідження були спрямовані на визначення ефективності запропонованої авторами технології у процесі перегонки спиртової бражки, отриманої із зернової сировини, що містить до 7% сухих речовин. Виробничі випробування проводились в умовах ДП «Лопатинський спиртовий завод».

Об'єктами досліджень були типова бражна колона, що працює в стаціонарному режимі, і експериментальна бражна колона, конструкція якої забез-

печує роздільний рух фаз при безперервній подачі в колону пари і бражки. За критерій оптимізації процесу брагоперегонки приймали питому витрату гріючої пари і концентрацію етилового спирту в пробах бражного дистиляту.

Типова бражна колона діаметром 1200 мм була оснащена тарілками подвійного кип'ятіння у кількості 25 шт. Технологічні показники її роботи: тиск у кубової частини — 1,3 м вод. ст. (13 кПа), у верхній частині — 0,3 м вод. ст. (3 кПа), температура кубової частини — 106,3 °С, температура верху — 95,6 °С, на 22-й тарілці живлення — 93,9 °С, температура бражки — 81,6...81,9 °С. Експериментальна бражна колона діаметром 650 мм була оснащена лускатими тарілками в кількості 30 шт. і рухомими клапанами, закріпленими на тягах, з'язаними з пневмоциліндрами. Відстань між тарілками дорівнювала 400 мм.

Показники її роботи при нормативних втратах спирту з бардою: тиск у кубової частини — 2,2 м вод. ст. (22 кПа), у верхній частині — 0,7 м вод. ст. (7 кПа), температура кубової частини — 106,3 °С, температура верху колони — 91,2 °С. У всіх варіантах бражка подавалася на верхні тарілки колон. Інтервал часу затримки бражки на тарілках визначали експериментально залежно від концентрації етилового спирту у бражному дистиляті.

Дослідження показали, що з подовженням часу затримки бражки на тарілках до 12 с. концентрація етанолу у бражному дистиляті збільшувалася на 28% порівняно з типовою колоною і становила 64% об. при мінімальних витратах пари. Підвищення міцності бражного дистиляту дає змогу проводити більш глибоку гідроселекцію головних домішок в епюраційній колоні і завдяки цьому підвищити якість епюрату та ректифікованого етилового спирту. При затримці бражки на тарілках більше 12 с концентрація спирту в бражному дистиляті зростала незначно, при цьому зменшувалася пропускна здатність колони по рідині.

Використання запропонованої технології керованої ректифікації для перегонки спиртової бражки дає змогу скоротити питомі витрати гріючої пари на 37% (до 14,4 кг/дал а.а.) порівняно з типовими бражними колонами, що працюють у стаціонарному режимі.

Висновки

Використання енергозберігаючої технології керованої ректифікації для розгонки спиртовмісних фракцій дає змогу забезпечити максимальне видалення альдегідів та естерів, підвищити ступінь вилучення вищих спиртів сивушного масла і метилового спирту на 60%, збільшити кратність концентрування головних летких домішок на 33%, сивушного масла на 69%, а метилового спирту на 52%. Збільшення часу затримки бражки на тарілках бражної колони до 12 с призводить до зростання концентрації етилового спирту у бражному дистиляті на 28% порівняно з типовими бражними колонами. Питомі витрати гріючої пари в процесі перегонки бражки і ректифікації етилового спирту скорочуються в середньому на 40% порівняно з типовими установками.

Отримані результати свідчать про доцільність використання запропонованої авторами технології у виробничих умовах. Перспективним напрямком

роботи є проведення подальших досліджень щодо підвищення експлуатаційної і технологічної характеристик БРУ різної модифікації при використанні технології керованої ректифікації.

Література

- 1 Шиян П.Л. Розробка ресурсо- та енергозберігаючої технології і техніки ректифікації в харчовій промисловості : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Шиян П.Л. — Київ : 1997. — 37 с.
- 2 Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. — Київ : Видавничий дім «Асканія», 2009. — 424 с.
- 3 Kiss A.A., Bildea C.S. A control perspective on process intensification in dividing-wall columns // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. — 2011. — № 50. — P. 281—292.
- 4 Патент України 60565 А. Спосіб перетікання рідини на тарілках колонних масообмінних апаратів / Малета В.М., Щуцький І.В., Дмитрук А.П., Черняхівський Й.Б. — Заявлено 10.12.02; Опубл. 15.10.03, Бюл. № 10.
- 5 Патент України 89874 С2. Спосіб переливу рідини по тарілках колонного апарата у процесі масообміну між парою та рідиною / Дмитрук А.П., Черняхівський Й.Б., Дмитрук П.А., Булій Ю.В. — Заявлено 06.06.08; Опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.
- 6 Патент на изобретение 2372965 С2 В01D 3/00, В01D 3/20 (RU). Способ перелива жидкости по тарелкам колонного аппарата в процессе массообмена между паром и жидкостью / Дмитрук А.П., Черняховский И.Б., Дмитрук П.А., Булій Ю.В.; патентообладатель Дмитрук А.П. (UA). — № 2007135886/15; заявл. 27.09.2007; — опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32/2007.
- 7 Патент України 26598 В01D 3/00. Спосіб переливу рідини по тарілках колонного апарата у процесі масообміну між парою та рідиною / Дмитрук А.П., Черняхівський Й.Б., Дмитрук П.А., Булій Ю.В.; заявник та патентовласник Дмитрук А.П. — заявлено 08.06.2007; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЯЕМОЙ РЕКТИФИКАЦИИ

Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц

Национальный университет пищевых технологий

А.П. Дмитрук

ООО «ТИСЭР»

В статье предложена энергосберегающая технология управляемой ректификации. Проведены исследования ее эффективности для процессов разгонки спиртосодержащих фракций и перегонки зрелой бражки. Определены технологические показатели работы экспериментальных разгонной и бражной колонн. Установлены преимущества предложенной технологии: в процессе разгонки происходит максимальное извлечение головных примесей, степень извлечения спиртов сивушного масла и метанола повышается на 60%, а кратность их концентрирования — на 52...69%. При увеличении времени задержки бражки до 12 с. концентрация этанола в бражном дистилляте увеличивается на 28%. При этом удельные затраты греющего пара сокращаются на 40%.

Ключевые слова: *бражка, этиловый спирт, контролируемые циклы, ректификация, фазовое равновесие.*