

УДК 663.551

Ю.В. Булій, канд. техн. наук

П.Л. Шиян, д-р техн. наук

А.М. Куц, канд. техн. Наук

Національний університет харчових технологій

А.П. Дмитрук

ТОВ «ТІСЕР»

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ШЛЯХОМ
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРОВАНОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ**

Авторами запропонована енергозберігаюча технологія керованої ректифікації. Проведені дослідження її ефективності для процесів розгонки спиртовмісних фракцій і перегонки дозрілої бражки. Визначені технологічні показники роботи експериментальних розгінної та бражної колон. Встановлено переваги запропонованої технології: в процесі розгонки відбувається повне вилучення головних домішок, ступінь вилучення спиртів сивушного масла та метанолу підвищується на 60 %, значно зростає їх кратність концентрування. 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 з 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

© Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц, А.П. Дмитрук, 2017 р.

дослідників направлені на створення технологій та обладнання нового покоління з максимально високими енерго- та 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 в 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. витрати 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, в той час 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 зниженню ефективності процесів перегонки спиртової бражки і ректифікації етилового спирту. В типових БРУ, що працюють в стаціонарному режимі, взаємодія парової і рідинної фаз відбувається за проміжок часу, який недостатній для встановлення

фазової рівноваги в системі рідина-пара, тому на фізичних тарілках рівновага практично не досягається. Як наслідок цього, для досягнення ефективних експлуатаційних характеристик типових БРУ витрати гріючої пари збільшують до 65 кг/дал ректифікованого спирту [2].

Одним із факторів, що дозволяють інтенсифікувати масообмін між рідиною і парою, підвищити ступінь очистки ректифікованого спирту від супутніх домішок, а також скоротити питому витрату гріючої пари, є подовження часу затримки рідини на тарілках 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.

Рушійною силою процесу масопереносу є ступінь відхилення системи від рівноваги і залежить від різниці робочих і рівноважних концентрацій компонентів у паровій або рідинній фазах. На теоретичних ступенях контакту ця різниця наближається до нуля. В реальних умовах її зменшення дозволяє збільшити рушійну силу масообміну, підвищити роздільну здатність ректифікаційних колон, ступінь вилучення і кратність концентрування летких домішок, якість ректифікованого спирту, а також скоротити питому витрату гріючої пари і зменшити собівартість обладнання завдяки скороченню кількості фізичних тарілок [3].

Для підвищення експлуатаційних і технологічних характеристик БРУ перспективним напрямком є використання нестационарного (циклічного) режиму її роботи, а також розробка конструкції ректифікаційного обладнання, що забезпечує роздільний рух парової і рідинної фаз по тарілках колон без переривання подачі в колону гріючої пари та рідини.

Відомі вітчизняні ректифікаційні установки циклічної дії не знайшли широкого практичного використання. Аналіз отриманих результатів досліджень дозволив виявити ряд специфічних особливостей їхньої роботи (як позитивних, так і негативних). Зокрема, було доведено, що роздільний рух фаз по колоні дає можливість інтенсифікувати масообмін між рідиною і парою за

рахунок одноразової зміни рідинної затримки на тарілках і скоротити витрату гріючої пари на 40 % в порівнянні з типовими колонними апаратами, що працюють в 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].

Метою роботи було підвищити ефективність масообміну між рідиною і парою, ступінь вилучення та кратність концентрування ключових органічних домішок спирту в процесах перегонки дозрілої бражки і ректифікації етилового спирту, а також понизити енергоємність колонного обладнання за рахунок використання технології керованих циклів ректифікації.

Виклад основних результатів дослідження. Для вирішення поставленої задачі співробітниками Національного університету харчових технологій та ТОВ «Техінсервіс-процес» була запропонована технологія ректифікації, що передбачає проведення контрольованих циклів затримки і синхронного переливу рідини за рахунок додатково встановлених клапанів на рухомих тягах по всій висоті колони, зв'язаних з приводними механізмами (пневмоциліндрами), дія яких відбувається згідно заданого алгоритму у відповідності з 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 по чергово. На першому етапі рідина синхронно переливається з кожної непарної тарілки на кожен наступну парну тарілку; на другому етапі – з кожної парної тарілки на кожен наступну непарну тарілку [5,6]. Причому, на кожному етапі перелив може здійснюватися за один або за два прийоми в залежності від ступеню відновлення поверхні міжфазового контакту (рис. 1).

На рис. 1а схематично представлений 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 показаний 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].

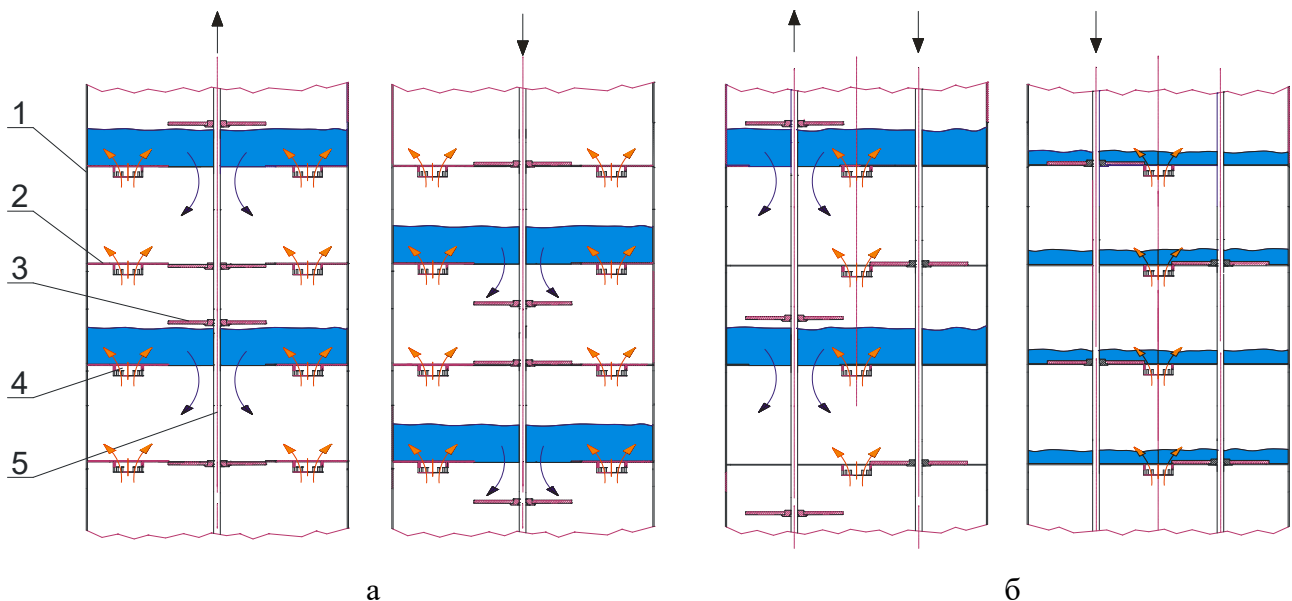


Рис 1. Способи переливу рідини в умовах контрольованих циклів ректифікації:

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

Дослідження енергозберігаючої технології проводилися у виробничих умовах ДП «Чудновська філія Житомирського лікєро-горілочного заводу». Завданням досліджень було визначити ступінь вилучення та кратність концентрування основних груп домішок спирту, а також встановити питомі витрати гріючої пари в умовах типової та керованої ректифікації.

Для вирішення поставленої задачі 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 %. В корпусі колони були встановлені рухомі тяги з клапанами, які почергово 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 дистилаті (концентраті естеро-сивушному (КЕС) і кубовій рідині відповідно, мг/дм³.

Результати досліджень приведені у таблиці 1.

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

Таблиця 1

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 та естери (головні домішки)

виділяються в повному обсязі, 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 % у порівнянні 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 бражня колона, що працює в стаціонарному режимі, і експериментальна бражня колона, конструкція якої дозволяла забезпечити 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 бражня 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 бражня 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. Концентрація етилового спирту в дозрілій бражці становила 8,5 % об. Інтервал часу затримки бражки на тарілках колони 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 бражном дистиляті збільшувалася на 28 % в порівнянні з типовою колоною і становила 60,3 % об. при мінімальних витратах пари. Підвищення міцності бражного дистиляту дозволяє проводити більш глибоку гидроселекцію головних і верхніх проміжних домішок спирту 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 зменшувалась пропускна здатність колони по рідині.

Використання енергозберігаючої технології ректифікації з контрольованими циклами затримки рідини для перегонки спиртової бражки дозволяє скоротити питомі витрати гріючої пари на 37 % (до 14,4 кг/дал а.а.) в порівнянні з типовими бражними колонами, що працюють в стаціонарному режимі.

Висновки і перспективи подальших наукових досліджень. Використання енергозберігаючої технології керованої ректифікації для розгонки спиртовмісних фракцій дозволяє забезпечити повне 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 % в порівнянні з типовими бражними колонами. Питомі витрати гріючої пари в процесі перегонки бражки і ректифікації етилового спирту скорочуються в середньому на 40 % у порівнянні з типовими установками.

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. - Автореферат докт. дис. - Київ.: 1937-37 с.

2. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійничук. – К.: 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.

Ю.В. Булий, П.Л. Шиян, А.М. Куц, А.П. Дмитрук
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ПУТЕМ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЯЕМОЙ
РЕКТИФИКАЦИИ

Авторами 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 полное извлечение головных примесей, степень извлечения спиртов сивушного масла и метанола повышается на 60 %, значительно возрастает их кратность концентрирования. 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.

Y.V. Buliy, P.L. Shiyan, A.M. Kuts, A.P. Dmitruk

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

The authors propose saving technology-driven rectification. Conducted research of its efficiency for the processes of distillation of alcohol-containing fractions and distillation of mature distillate. Determined the technological parameters of the experimental acceleration and alcohol distillation columns. The advantages of the proposed technology: in the process of acceleration there is a complete extraction of the head impurities, the degree of extraction

of alcohols fusel oil and methanol increased by 60 %, significantly increased their concentration rate. With increasing time, the delay distillation up to 12 s. the concentration of industrial ethanol in the distillate is increased by 28 %. While the unit cost of the heating steam is reduced by 40 %.

Keywords: distillation, ethyl alcohol, controlled cycles, rectification, phase equilibrium.

Дата надходження статті до редакції 15.02. 2017 року.

Булій Ю.В. Підвищення експлуатаційних характеристик брагоректифікаційних установок шляхом використання технології керованої ректифікації [Текст] / Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц, Р.Г., А.П. Дмитрук // Журн. «Харчова промисловість». – К.: НУХТ, 2017. т.23. – № 2. -с. 234-240.