

УДК 663.551

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ
ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ У СПИРТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Булій Юрій Володимирович, Куц Анатолій Михайлович,

Форсюк Андрій Васильович

к.т.н., доценти

Булій Даніл Юрійович,

студент

Національний університет харчових технологій

м. Київ, Україна

yvbuliy@gmail.com

anatolykuts@ukr.net

forsyuk-andrii@ukr.net

danya@ukr.net

Анотація. Розроблено енергозберігаючу технологію переробки побічних продуктів спиртового виробництва в розгінній колоні, дія якої відбувається в режимі циклічної ректифікації. Її перевагою є збільшення ступеню вилучення і кратності концентрування летких домішок спирту на 25...38 % та зменшення витрати гріючої пари в колоні на 40 %. Подовження тривалості перебування рідини на тарілках до 30... 60 с дозволило підвищити ефективність масообміну між рідиною і парою, здійснювати сумісну розгонку головної та сивушних фракцій, збільшити вихід спирту етилового ректифікованого на 3,8...4 %, зменшити втрати етанолу з концентратом домішок на 30 % і отримати високоякісний спирт сорту «Люкс».

Ключові слова: масообмін, ректифікація, розгінна колона, спирт, домішки.

В умовах зростаючих цін на енергоносії розробка і впровадження енергозберігаючих способів підвищення виходу спирту етилового

ректифікованого без погіршення його якості шляхом переробки побічних спиртовмісних продуктів є пріоритетним завданням у спиртовому виробництві.

Побічними продуктами у спиртовому виробництві є головна фракція (ГФ) етилового спирту і сивушне масло. У безводній частині ГФ міститься 92...97 % етилового спирту і 3...8 % летких домішок. Переробка ГФ в розгінній колоні (РК) дозволяє збільшити вихід ректифікованого спирту від 94...96 до 98...98,5 % із однієї тони умовного крохмалю, а леткі домішки видаляти із установки у концентрованому вигляді. Вміст етилового спирту у сивушній фракції становить 5...40 %. Для його вилучення сивушний спирт разом із сивушною фракцією спиртової колони подають на переробку у сивушну колону [1, с. 235].

Включення в схему брагоректифікаційної установки додаткових колон потребує підвищених енерговитрат. Так, робота РК вимагає додаткових витрат гріючої пари до 20 кг/дал безводного спирту (б.с.), введенного в колону, а гарячої пом'якшеної води на гідроселекцію в кількості 11,7...20,5 кг/кг б.с. залежно від виду сировини. У разі сумісної переробки головної та сивушних фракцій витрати гріючої пари зростають на 28,7 % (від 2,56 до 3,59 кг/кг б.с. введенного на тарілку живлення), а кількість тарілок збільшують до 57...60 [1, с. 238].

Незважаючи на це, відомі способи сумісної переробки спиртовмісних фракцій не забезпечують ефективного очищення етилового спирту від головних, частини проміжних та кінцевих домішок (ізобутилового, н-пропілового, ізопропілового та метилового спиртів), які разом із кубовою рідиною повертаються в бражку або надходять в концентраційну зону епюраційної колони для проведення гідроселекції. Останні накопичуються в бражці або епюраті і згодом суттєво погіршують якість спирту етилового ректифікованого.

Для зниження енерговитрат, зменшення металоємності устаткування, його собівартості та підвищення ступеню очищення етилового спирту від летких органічних домішок під час переробки побічних продуктів спиртового виробництва у Національному університеті харчових технологій (НУХТ) розроблено енергозберігаючу технологію ректифікації, яка передбачає

включення в схему установки РК циклічної дії та проведення контрольованих циклів масообміну між парою і рідиною на ступенях їх контакту [2, с.104].

Для реалізації технології співробітники НУХТ і ТОВ «TICER» розробили конструкцію і виготовили експериментальну РК циклічної дії [3, с.104]. Діаметр колони дорівнював 950 мм. В середині колони були встановлені 30 лускоподібних тарілок без зливних і приймальних пристроїв. Відстань між тарілками дорівнювала 300 мм. Тарілки були оснащені поворотними сегментами, з'єднаними з мікропроцесорною пневматикою фірми FESTO (стандартними пневмоциліндрами двосторонньої дії) [4]. Пневмоциліндри включалися в роботу по чергово відповідно до програми контролера M340 фірми «Schneider Electric». При цьому поворотні сегменти по чергово відкривали та закривали переливні отвори тарілок таким чином, що переливання рідини по тарілках відбувалося після заданої тривалості затримки рідини на кожній тарілці періодично зверху до низу колони відповідно до заданого алгоритму (рис. 1) [5].

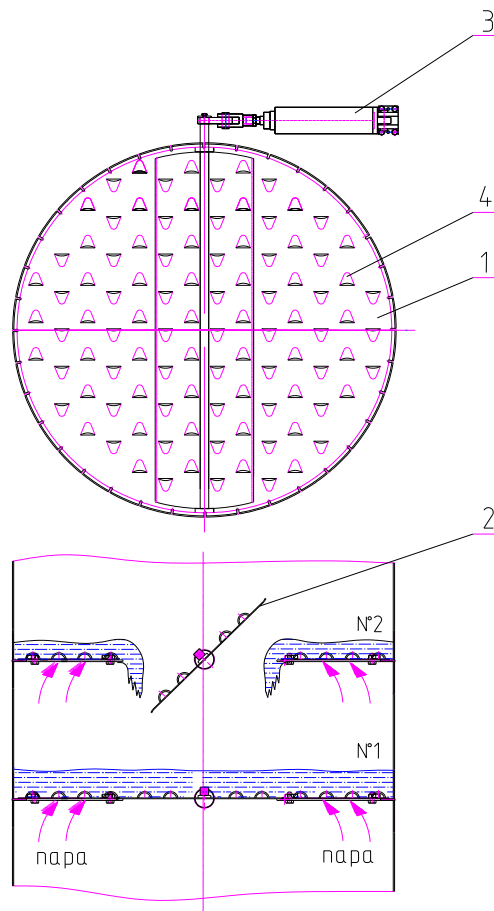


Рис. 1. Лускоподібна тарілка циклічної дії із змінним вільним перерізом
1 — тарілки; 2 — поворотний сегмент; 3 — приводний механізм; 4 — луски.

У разі відкривання переливного отвору площа вільного перерізу тарілки миттєво збільшувалась від 2,6 до 51,7 %. При цьому швидкість пари в щілинах лусок зменшувалась до 1,5... 1 м/с, а рідина інтенсивно переливалася через всі отвори. І навпаки, коли переливні отвори закривалися, швидкість пари в щілинах лусок збільшувалась до 12... 14 м/с, внаслідок чого переливання рідини припинялося, а рідина утримувалась на тарілках. В цей період відбувався інтенсивний масообмін між рідиною та парою. Тривалість циклів затримки і переливання рідини залежала від складу побічних продуктів, що надходили на тарілку живлення, їх кількості, технологічних особливостей процесу і кожного разу визначалася експериментально. Наприклад, для переробки головної та сивушних фракцій тривалість затримки рідини на тарілках становила 30...60 с залежно від навантаження тарілки по рідині, а тривалість її переливання з тарілки на тарілку становила 1,5... 2 с.

Метою роботи було дослідження ефективності інноваційної технології переробки побічних продуктів брагоректифікації: визначення ступеню вилучення і кратності концентрування летких домішок спирту в режимах типової та циклічної ректифікації, а також встановлення питомої витрати пари в дослідній розгінній колоні циклічної дії.

Дослідження проводились у виробничих умовах МПД «Сторонибаський спиртовий завод» ДП «Укрспирт». На тарілку живлення РК подавали ГФ етилового спирту, спиртовмісні фракції із конденсаторів бражної колони та сепаратора вуглекислого газу, сивушну фракцію і сивушний спирт із спиртової колони і промивну підсивушну воду в кількості 690 дм³/год (250 дм³/год в перерахунку на б.с.). На верхню тарілку колони безперервно надходила гаряча пом'якшена вода в кількості 4000...4500 дм³/год для проведення гідроселекції. Концентрація етилового спирту в кубовій рідині становила 3,6...3,8 % об. Тривалість затримки рідини на тарілках РК дорівнювала 40 с, час її переливання з тарілки на тарілку — 1,7 с. В нижній частині колони тиск коливався в межах

1,15...1,20 м. вод. ст., а температура змінювалась від 100,5 до 101 °С. Температура в паровій фазі над верхньою тарілкою становила 93,5... 94 °С.

Під час розгонки спиртовмісна суміш розділялась на два потоки: верхній, в якому містились головні та проміжні домішки спирту, і нижній — водно-спиртову рідину, звільнену від них. Пари із верхньої частини колони послідовно поступали в дефлегматор і конденсатор, з'єднані з декантатором. В декантаторі відбувалося розшарування флегми, яка надходила із дефлегматора, і концентрування домішок. Останні у вигляді концентрату естери-сивушного (КЕС) відбирали із верхньої частини декантатора в кількості 0,4...0,6 % від абсолютного алкоголю бражки. Із конденсатора колони відбирали альдегідно-метанольний концентрат у співвідношенні 1:2 до КЕС. Очищену від домішок водно-спиртову рідину із нижньої частини декантатора повертали на верхню тарілку РК на її зрошення, а кубову рідину подавали на верхню тарілку епюраційної колони для проведення гідроселекції.

Для оцінки ефективності інноваційної технології під час розгонки фракцій відбирали проби живлення ($X_{жс}$), кубової рідини ($X_{куб}$) та концентрату домішок ($X_{кд}$) і проводили їх аналіз методом газової хроматографії. Для оптимізації процесу розгонки розраховували ступінь вилучення (α) та кратність концентрування (β) летких домішок спирту за формулами:

$$\alpha = \frac{X_{жс}}{X_{куб}}; \beta = \frac{X_{кд}}{X_{жс}}.$$

Розрахункові значення (α) і (β) в умовах типової та циклічної ректифікації наведені в табл. 1.

Аналіз отриманих результатів показав, що за циклічного режиму розгонки спиртовмісних фракцій ступінь вилучення вищих спиртів сивушного масла і метанолу збільшилась на 38 %, кратність концентрування головних домішок зросла на 25 %, верхніх проміжних домішок — на 40 %, а кінцевих домішок — на 37 %. Обрані технологічні режими і збільшення тривалості перебування рідини на тарілках РК до 40 с дозволили підвищити ефективність масообміну, інтенсифікувати переливання рідини по тарілках і створити умови, за яких

концентрації летких домішок у парі і рідині на кожній тарілці наближались до рівноважних.

Таблиця 1

Розрахункові значення ступеню видалення (α) і кратності концентрування (β) летких домішок спирту

Найменування домішки	Стаціонарний режим ректифікації		Циклічний режим ректифікації	
	α	β	α	β
<i>Альдегіди</i>	85,4	5,3	113,8	7,2
ацетальдегід	63,7	4,3	86,5	5,8
метилацетат	∞	8,8	∞	11,9
<i>Естери</i>	79,7	8163,7	∞	11027
ізобутилацетат	57,8	214,7	∞	291,4
ізоамілацетат	∞	12,3	∞	16,8
Метанол, %	27,6	9,3	45	14,9
Сивушне масло	89,8	4,1	146,7	6,9
ізопропанол	87	10,9	∞	18,7
н-пропанол	17,9	0,005	29,5	0,01
ізобутанол	2414,4	10,5	4142,2	17,6
н-бутанол	82,9	1,6	134,1	2,8
ізоамілол	3953,2	3,3	4726,2	5,6

Практично доведено, що використання інноваційної технології дозволяє збільшити вихід спирту етилового ректифікованого на 3,8...4 % із однієї тони умовного крохмалю і зменшити втрати етанолу з концентратом домішок на 30 % завдяки підвищенню ступеню вилучення етилового спирту із побічних продуктів брагоректифікації. Органолептичні та фізико-хімічні показники ректифікованого спирту відповідали нормативним для сорту «Люкс». При цьому питома витрата гріючої пари в РК циклічної дії зменшилась на 40 % (від 20 до 12 кг/дал б.с., введеного на тарілку живлення) порівняно з типовою розгінною колоною, дія якої відбувалася в стаціонарному режимі.

Розроблене програмне забезпечення стабільно підтримувало роботу мехатронних підсистем відповідно до заданого алгоритму за допомогою мікропроцесорного ПЛК M24 та SCADA робочого місця оператора.

Список літератури

1. Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. Київ: Видавничий дім «Асканія», 2009. 424 с.
2. Buliy Y., Shiyan P., Kuts A., Melnik I. (2021), Technology of cyclic rectification in alcohol production, *Food Science and technology*, 13(4), pp. 104–111.
3. Bulii Y., Kuts A., Yuryk I., Forsiuk A. (2021), Improving the efficiency of mass exchange between liquid and steam in column apparatuses of cyclic action, *Ukrainian Food Journal*, 10(2), pp. 346–360.
4. Масообмінна контактна тарілка: пат. 123918 Україна: B01D 3/00 (2996.01). № а 2019 02120; заявл. 01.03.2019; опубл. 10.09.2020, Бюл. № 17. 8 с.
5. Спосіб масообміну між рідиною і парю в колонному апараті: пат 123917 Україна: B01D 3/30. № а 2019 02118; заявл. 01.03.2019; опубл. 10.09.2020. Бюл. № 17. 8 с.