

УДК 663.551

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕГОНКИ СПИРТОВОЇ БРАЖКИ

Ю. В. Булій, А. М. Куц, А.В. Форсюк, О.М. Ободович

*Національний університет харчових технологій*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

## OPTIMIZATION OF THE DISTILLATION PROCESS OF ALCOHOLIC MASH

**Yurii Bulii, Anatolii Kuts, Andrii Forsiuk, Olexander Obodovich**

*National University of Food Technologies*

*Institute of Technical Thermophysics of the National academy of sciences of Ukraine*

*Критеріями оптимізації процесу перегонки спиртової бражки є якісний склад бражного дистиляту, концентрація етилового спирту в дистиляті і барді та питома витрата гріючої пари в бражній колоні. Вказані показники залежать від якісного складу бражки, кількості і типу тарілок, гідравлічного режиму їх роботи, температурного режиму процесу перегонки, способу обігріву колони, ступеню декарбонізації бражки та ефективності системи автоматизації для управління і контролю технологічних параметрів.*

*Вагомим фактором оптимізації є збільшення тривалості контакту пари і бражки на тарілках колони задля досягнення стану фаз, близького до рівноважного. Авторами запропонована енергозберігаюча технологія перегонки бражки в режимі контрольованих циклів затримки і переливу її, розроблена конструкція бражної колони для реалізації інноваційного способу та апаратурно-технологічна схема включення її в роботу. У виробничих умовах встановлено оптимальні технологічні параметри і гідравлічні режими роботи експериментальної колони циклічної дії. Доведено, що інноваційний спосіб дозволяє збільшити тривалість контакту пари та бражки на кожній тарілці до 35—40 с і скоротити час переливу її з тарілки на тарілку до 1,5—1,7 с, завдяки чому концентрація етилового спирту в бражному дистиляті зростає на 33 % (до 60 % об.), пропускна здатність колони по рідині — на 17 % (від 15000*

до 18000  $\text{dm}^3/\text{год}$ ), а питома витрата гріючої пари на процес брагоперегонки зменшилась на 60 % (від 25 до 10  $\text{кг}/\text{дал}$  в перерахунку на безводний спирт, введеного на тарілку живлення). Для досягнення вищевказаних показників в бражній колоні достатньо встановити 24 лускоподібні тарілки із змінним вільним перерізом, що дозволяє зменшити металоемність технологічного обладнання.

**Ключові слова:** бражка, бражний дистилят, тарілки, колона, спирт, пара, контрольовані цикли.

## **ABSTRACT**

*Criteria for optimization of the distillation process of the distilled liquor are qualitative composition of the liquor distillate, concentration of ethyl alcohol in the distillate and board and specific flow rate of heating steam in the distillation column. These characteristics depend on the quality composition of the mash, the number and type of plates, the hydraulic mode of their operation, the temperature mode of the distillation process, the method of heating the column, the degree of decarbonization of the mash and the effectiveness of automation of control and monitoring of technological parameters.*

*An important optimization factor is to increase the contact time of steam and mash on the column plates in order to achieve a phase state close to equilibrium. The authors proposed an energy-saving technology for distillation of the mash in the mode of controlled cycles of its delay and overflow, developed a design of distillation column for the implementation of the innovative method and hardware-technological scheme of inclusion it to work. Under production conditions, the optimal technological parameters and hydraulic operating modes of the experimental column of cyclic action are established. It is proved that the innovative way allows to prolong time of contact of steam and mash on each plate to 35—40 s and to reduce time of its overflow from plate to plate to 1,5—1,7 s, due to this the concentration of ethyl alcohol in the distillate was increased by 33% (up to 60% vol.), the column capacity by 17% (from 15000 to 18000  $\text{dm}^3/\text{h}$ ) and specific consumption of heating steam for distillation process was*

*decreased by 60% (from 25 to 10 kg/dl in terms of anhydrous alcohol, introduced to the feed plate). In order to achieve the above-mentioned indicators, it is sufficient to install 24 flake plates with variable free cross-section, which allows reducing the metal-intensity of the technological equipment.*

**Key words:** mash, distillate, plates, column, alcohol, steam, controlled cycles.

**Постановка проблеми.** Найбільш енергоємним процесом у спиртовому виробництві є перегонка дозрілої бражки, якісний і кількісний склад якої залежить від виду вихідної сировини та прийнятих технологічних режимів її отримання. Концентрація етанолу в спиртовій бражці становить 8—12 % об. Леткі домішки, супутні етиловому спирту, характеризуються великим розмаїттям. В спиртовій бражці ідентифіковано від 150 до 200 летких компонентів, загальний вміст яких не перевищує 0,6 % від кількості етилового спирту (Маринченко та ін., 2003). Наразі перегонку бражки здійснюють у брагоперегонних апаратах або брагоректифікаційних установках (БРУ). У першому випадку із бражки отримують спирт-сирець, у другому — бражний дистилят (БД). Оптимальна робота бражної колони (БК) визначається співвідношенням між кількістю тарілок та витратою пари, а також вмістом спирту в бражці, барді, над тарілкою живлення і температурою бражки на тарілці живлення. Концентрація спирту в БД коливається в межах 35—65 об. %. На перегонку бражки витрачається 40—45 % від всієї грючої пари, яка надходить до БРУ, що становить 24—25 кг/дал ректифікованого спирту (Українець, Шиян & Сосницький, 2006).

П.С. Циганков визначив, що найбільш економічно БК працює за наявності в ній 13,8 теоретичних або 27—28 реальних тарілок. Відстань між тарілками становить 400—500 мм. За таких умов вміст спирту у барді не перевищує 0,001 % об. Із зменшенням кількості теоретичних тарілок до 10, що відповідає 20 реальним тарілкам, і концентрації спирту в барді до 0,015 % об. витрата пари на брагоперегонку збільшується в середньому на 1,5 кг/дал. Із зменшенням витрати пари необхідно збільшувати кількість тарілок для забезпечення необхідного

ступеню вилучення спирту із бражки. Однак, при досягненні визначеного мінімуму витрати пари збільшення кількості тарілок вже не забезпечує необхідного ступеню вилучення спирту (Цыганков, 2010).

Якісний склад БД, концентрація в ньому етилового спирту, фізико-хімічні та органолептичні показники ректифікованого спирту, питома витрата гріючої пари на процес брагоперегонки в значній мірі залежать і від типу тарілок, гідравлічного режиму роботи їх, температурного режиму процесу перегонки, а також від тривалості перебування бражки на тарілках та ефективності системи автоматизації для управління і контролю технологічних параметрів роботи БК.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням оптимізації процесу перегонки бражки присвячена значна кількість наукових праць. Одним із факторів оптимізації є вибір типу контактних пристроїв і гідродинамічного режиму роботи їх. В типових БК в більшості випадків використовують вже застарілі на наш погляд тарілки подвійного кип'ятіння. Для підвищення ефективності масообміну між бражкою і парою проведені дослідження ефективності роботи сітчастих, клапанних, лускоподібних, решітчастих тарілок провального типу (РПТ) та ін. Визначені коефіцієнти їх корисної дії (ККД) за умови роботи цих тарілок в стаціонарному режимі: сітчастих та РПТ 0,4—0,5; клапанних 0,6—0,65; лускоподібних 0,6—0,7; подвійного кип'ятіння 0,4—0,5. Залежно від ступеню забруднення тарілок або через незадовільний їх технічний стан ККД зменшується на 20—40 %, а для запобігання втрат спирту з бардою витрату гріючої пари в БК збільшують на 10—11 кг/дал.

В останні роки сучасні БК все більше оснащують клапанними і лускоподібними тарілками, перевагою яких є значний діапазон навантажень за рідиною та парою. Лускоподібні тарілки відрізняються більш високою питомою продуктивністю. Їх використання виключає винесення краплин рідини з нижніх тарілок на верхні за швидкості пари у вільному перерізі колони понад 1,5 м/с, а в щілинах лусок до 16 м/с (Марценюк, Малезик & Зоткіна, 2019).

Вагомим фактором оптимізації роботи БК є концентрація спирту в БД, непрямим показником якої є температура над верхньою тарілкою колони. Ця

температура повинна бути в межах 92—94 °С. Перегрів БК може призвести до перевитрати гріючої пари, зменшення концентрації спирту в БД та появи в епюраті і ректифікованому спирті пекучості. Про перегрів колони свідчить підвищена температура на її тарілці живлення (понад 94 °С).

Для забезпечення ефективного вилучення із бражки спирту та супутніх органічних домішок і підвищення концентрації спирту в БД БК повинна працювати з надлишком пари в 5—10 % при коефіцієнті надлишку пари  $\beta=1,05—1,1$ . Цей коефіцієнт є одним з показників оптимальної витрати пари. Крім того, використання закритого обігріву БК дозволяє підвищити концентрацію спирту в БД і зменшити об'єм барди на 15 %. У разі закритого обігріву підвищується якість ректифікованого спирту через виключення можливості введення в колону разом із гріючою парою небажаних летких речовин, наявність яких негативно впливає на якість готового продукту. Підвищення міцності БД дає можливість зменшити витрати пари в спиртовій колоні, проводити глибоку гідроселекцію в епюраційній колоні для ефективного виділення та концентрування головних домішок спирту без істотного зниження міцності епюрату і таким чином підвищити якість епюрату і ректифікованого спирту. Наприклад, при зменшенні концентрації спирту в БД від 50 до 30 об. % флегмове число в спиртовій колоні збільшується на 7,7 %; відповідно зростають витрати гріючої пари.

У виробничій практиці використовують різні способи підвищення концентрації спирту в БД від 45—50 до 60—65 об. %. Для цього на верхню тарілку БК подають конденсат водно-спиртової пари у вигляді флегми із першої секції бражного підігрівача або невелику частину БД із проміжного збірника дистиляту. Це дає можливість виключити попадання зважених частинок бражки в міжтрубний простір бражного підігрівача. БД, який виходить із різних конденсаторів (2-х або 3-х-секційний підігрівач бражки, основний конденсатор, додатковий конденсатор), відрізняється за концентрацією спирту та вмістом летких домішок. Так, концентрація спирту в БД першої секції бражного підігрівача дорівнює 7—10, другої 25—35, третьої 50—60 і водяної секції 60—65 % об. Концентрація в них спирту залежить від частки сконденсованої пари

(фракційна конденсація). Перші погони збагачені вищими спиртами, а кінцеві — оцтовим альдегідом, оцтово-етиловим естером та ін. Тому задля підвищення ступеню вилучення головних та верхніх проміжних домішок доцільно застосовувати фракційне введення БД до епюраційної колони.

Концентрація спирту в бражці та її температура суттєво впливають на технологічні параметри роботи БК. Із практичного досвіду відомо, що при збільшенні концентрації спирту в бражці від 8 до 10 об. % витрати пари зменшуються на 3,2 кг/дал або 16,5 %. Подача в колону недогрітої до температури кипіння бражки створює в ній ефект дефлегмації, внаслідок чого збільшується концентрація спирту у водно-спиртовій парі, яка відводиться з колони. Так, при зменшенні температури бражки від 90 до 70 °С концентрація спирту в парі збільшується в середньому на 5,5 мас. %, в той же час на 1,3 кг/дал збільшується витрата гріючої пари. Для БРУ непрямої дії недогрів бражки до температури кипіння на 10—12 °С може бути допустимим. Але для оптимізації роботи БК температура бражки на вході в колону повинна бути максимально наближеною до температури кипіння бражки (Шиян, Сосницький & Олійнічук, 2009).

Особливу увагу потрібно приділяти якості декарбонізації бражки. Вуглекислота, що залишається в бражці, збільшує об'єм пари в БК, зменшує її потужність, погіршує теплообмін в підігрівачах бражки та конденсаторах, збільшує втрати спирту з несконденсованими газами. Крім того, вуглекислота сприяє утворенню в БК естерів карбонових кислот, що негативно впливає на якість ректифікованого спирту.

Виконання вищевказаних умов і дотримання оптимальних технологічних режимів перегонки бражки дозволяє оптимізувати роботу БК і зменшити витрату гріючої пари на 5—6 кг/дал.

Одним із перспективних напрямів оптимізації процесу брагоперегонки, які дозволяють підвищити ККД контактних пристроїв, ефективність масообміну між рідиною і парою, зменшити питому витрату гріючої пари, збільшити концентрацію етилового спирту в БД і зменшити металоемність колонного

обладнання, є здійснення контрольованих у часі циклів затримки бражки на тарілках БК для подовження тривалості контакту її з парою (Buetehorn, Paschold, Andres, Shilkin & Knoesche, 2015; Bulii, Kuts, Yuryk & Forsiuk, 2021). Відомі способи вирішення поставленої задачі шляхом гальмування руху рідини завдяки організації течії окремих паро-рідинних струменів із взаємним їх зіткненням та часткової компенсації прямогоку. Для цього на тарілках БК встановлювали перегородки, відбивачі, пристрої у вигляді отворів, насадок та ін. (Van Gerven & Stankiewicz, 2009). Такі технічні рішення виявились ефективними для перегонки суміші, яка не містить зважених частинок (чистих рідин). Під час гальмування руху бражки в місцях установки таких пристроїв утворювались застійні зони, в яких за високих температур брагоперегонки відбувалось пригорання зважених частинок і погіршення масообміну між парою і бражкою. З метою оптимізації процесу були розроблені і досліджені способи перегонки бражки в циклічному режимі (Kiss, Flores Landaeta & Zondervan, 2012; Pătruț, Bîldea, Liță & Kiss, 2014), але через відсутність масообміну в паровий період і складність реалізації вони не знайшли широкого практичного застосування.

Для вирішення актуальної проблеми та усунення вказаних вище недоліків співробітниками НУХТ у співпраці з ТОВ «ТІСЕР» була запропонована енергозберігаюча технологія перегонки бражки в циклічному режимі, а також розроблена конструкція БК циклічної дії для її реалізації, яка забезпечувала проведення контрольованих циклів затримки бражки на тарілках відповідно до заданого алгоритму для подовження її контакту з парою і дозволила інтенсифікувати перелив рідини з тарілки на тарілку за безперервної подачі гріючої пари в кубову частину колони (Булій, Шиян, Куц & Мельник, 2019).

**Мета статті:** дослідження ефективності процесу перегонки бражки за умови періодичного її переливу по тарілках БК циклічної дії і безперервній подачі гріючої пари в її кубову частину, визначення оптимальних технологічних параметрів роботи експериментальної колони, за яких концентрація етилового спирту в БД є максимальною, а також встановлення мінімальної витрати гріючої пари, за якої втрати спирту з бардою не перевищують нормативні.

**Матеріали і методи.** Методи досліджень — аналітичні, хімічні, фізико-хімічні та хроматографічні з використанням приладів та методики досліджень, що застосовуються у виробництві спирту етилового ректифікованого (Янчевський, Ковальчук, Кравчук, Попова & Олійник, 1999; Plutowska & Wardenski, 2008). Витрати рідини контролювали за допомогою витратоміру РМ. Концентрацію етилового спирту в бражному дистилаті і барді визначали ареометричним і рефрактометричним методами (Янчевський, Олійничук, Кравчук, Ковальчук & Михайло, 2002).

**Викладення основних результатів дослідження.** Дослідження проводились у виробничих умовах ДП «Попівський експериментальний завод».

Експериментальна БК діаметром 1700 мм була оснащена лускоподібними тарілками з коаксіальним розташуванням лусок арочного типу; площа перерізу отворів лусок дорівнювала  $57 \text{ мм}^2$  (адекватна отворам, діаметр яких дорівнює 10 мм); кількість тарілок — 24 шт.; відстань між тарілками — 400 мм; товщина полотна тарілки — 3 мм; матеріал — нержавіюча сталь марки 12X18H10T. Тарілки були оснащені поворотними сегментами, з'єднаними з пневматичними циліндрами двобічної дії типу DNT компанії «FESTO», дія яких відбувалася відповідно до програмного забезпечення автоматизованої системи управління (контролера М340). Вільний переріз кожної тарілки під час перебування бражки на її полотні дорівнював 2,5 %, а в момент відкриття переливного отвору — 51,7 %. Зміна вільного перерізу згідно заданого алгоритму дозволяла миттєво змінювати швидкість пари у вільному перерізі колони і щілинах лусок, завдяки чому здійснювати контрольовані у часі цикли затримки і переливу бражки. Для цього кожна тарілка містила поворотні сегменти, з'єднані з мехатронними підсистемами. Коаксіальне розташування лусок дозволяло виключити односпрямованість потоків рідини та пари, можливість утворення застійних зон і пригорання зважених частинок бражки, завдяки чому збільшити термін експлуатації БК без зупинки її на профілактичні роботи. Через відсутність переливних та приймальних пристроїв поверхня контакту пари і бражки на



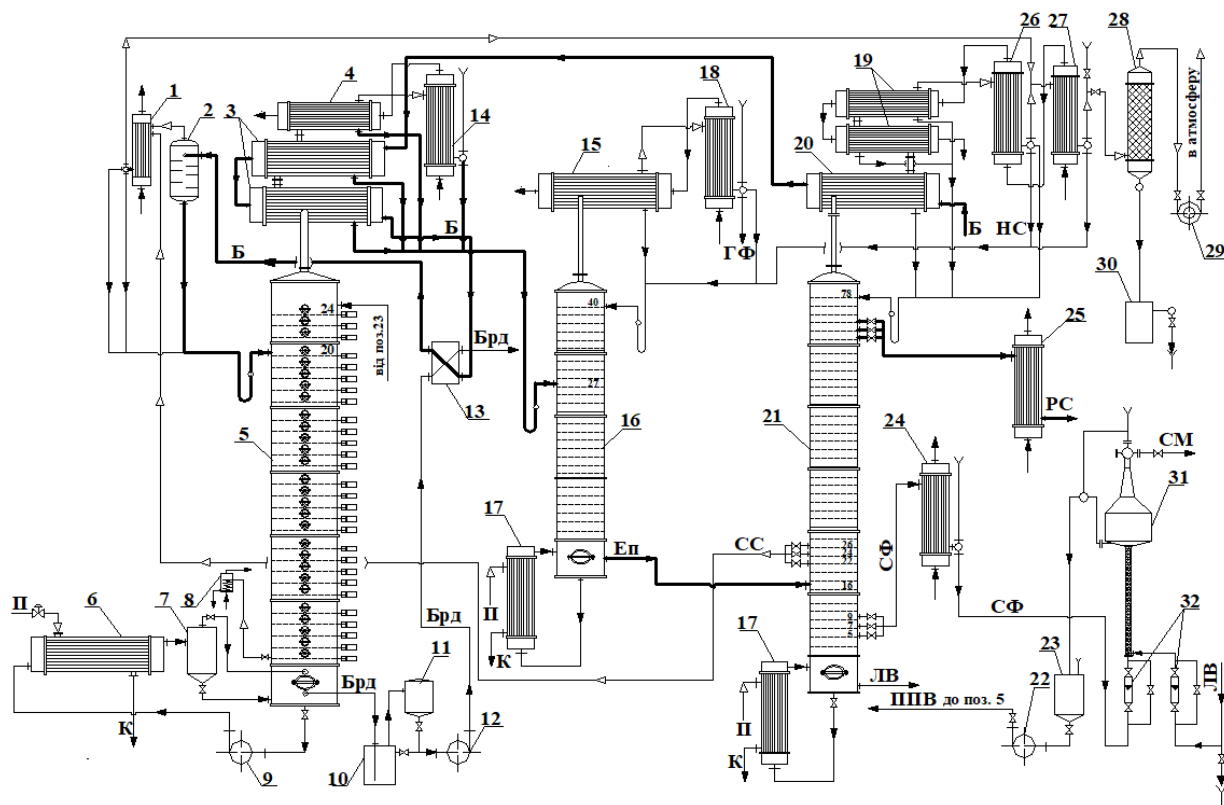
кожній тарілці була більшою на 15 % порівняно з типовими лускоподібними тарілками.

Перегонку бражки в циклічному режимі здійснювали наступним чином. Під час перебування бражки на тарілці рухомий сегмент закривав переливний отвір. В цей час швидкість пари в щілинах лусок зростала вище критичної (для лускоподібних тарілок 6,5—7,5 м/с) до 10—12 м/с. За таких умов бражка утримувалася на тарілці, і відбувався ефективний масообмін між парою і бражкою в струменевому режимі, який виключав провалювання бражки через щілини лусок і винесення краплин її на верхні тарілки. Після закінчення заданого часу затримки бражки на тарілці рухомий сегмент відкривав переливний отвір, і швидкість пари в щілинах лусок миттєво зменшувалась до 1,5—1 м/с. При цьому відбувався інтенсивний перелив бражки через переливний отвір і щілини лусок. Час переливу не перевищував 1,5—1,7 с.

Універсальність роботи лускоподібних тарілок в циклічному режимі полягає у почерговій зміні швидкості пари в отворах контактних пристроїв у визначеному діапазоні значень, завдяки чому під час масообміну тарілки були непровальними, а в період переливу бражки — провальними (Булій, Ободович & Сидоренко, 2019).

Апаратурно-технологічна схема включення експериментальної БК в роботу наведена на рис. 1. Із бродильного відділення на перегонку постійно надходила спиртова дозріла бражка із вмістом етилового спирту 9 % об. Обігрів БК 5 відбувався закритим способом шляхом циркуляції барди через випаровувач 6 з поверхнею нагріву 120 м<sup>2</sup>. В міжтрубний простір випаровувача безперервно надходила гріюча пара. Бражку послідовно підігрівали в підігрівачах 20 і 3 водно-спиртовою парою спиртової колони 21 і бражної колони 5, а далі в спіральному теплообміннику 13 з поверхнею теплообміну 50 м<sup>2</sup> теплом барди. Нагріту таким чином до температури 90 °С бражку після видалення з неї вуглекислого газу в сепараторі 2 подавали на 20-ту тарілку живлення БК, рахуючи знизу. В теплообміннику 13 барда охолоджувалась до температури 70 °С. Одночасно на верхню тарілку колони відцентровим насосом 22 подавали

підсвишну промивну воду в кількості 300 дм<sup>3</sup>/год, вміст спирту в якій становив 12 % об.



**Рис. 2. Апаратурно-технологічна схема включення експериментальної БК циклічної дії в роботу у складі БРУ**

1 — конденсатор сепаратора CO<sub>2</sub>; 2 — сепаратор CO<sub>2</sub>; 3,20 — підігрівачі; 4,15,19 — дефлегматори; 5 — бражна колона; 6,17 — випаровувачі; 7 — паросепаратор; 8 — пробний холодильник; 9,12,22,24 — відцентрові насоси; 10 — бардорегулятор; 11 — збірник барди; 13 — спіральний теплообмінник; 14,18,26 — конденсатори; 16 — епюраційна колона; 21 — спиртова колона; 23 — збірник ППВ; 25 — холодильник спирту; 27 — спиртовловлювач; 28 — барометричний конденсатор; 29 — вакуум-насос; 30 — барометричний ящик; 31 — декантатор; 32 — ротаметри.

Умовні позначення: Б — бражка; Брд — барда; ГФ — головна фракція; Еп — епюрат; ЛВ — лютерна вода; НС — неастеризований спирт; П — грюча пара; ППВ — підсвишна промивна вода; СМ — сивушне масло; СС — сивушний спирт; СФ — сивушна фракція.

В ході досліджень контролювали втрати спирту з бардою. Для цього періодично відбирали проби із холодильника 8. Витрату грючої пари регулювали таким чином, щоб втрати спирту за мінімальної витрати пари не перевищували нормативних значень — 0,015 % об.

За результатами досліджень встановлено оптимальні технологічні параметри роботи експериментальної БК циклічної дії:

- ❖ час затримки бражки на 1...20-й тарілках — 35 с;
- ❖ час затримки бражки на 21...24-й тарілках — 420 с;
- ❖ рівень бражки на тарілках — 40 мм;
- ❖ час переливу бражки з верхньої тарілки на нижню — 1,7 с;
- ❖ тиск в кубовій частині колони — 2,1...2,2 м. вод. ст.;
- ❖ тиск у верхній частині колони — 0,3...0,4 м. вод. ст.;
- ❖ температура в кубовій частині — 106...106,5 °С;
- ❖ температура над верхньою тарілкою — 91,5...92,0 °С;
- ❖ температура в паровій фазі над тарілкою живлення — 85,5...85,7 °С;
- ❖ витрати бражки — 15000 дм<sup>3</sup>/год (1350 дм<sup>3</sup>/год в перерахунку на безводний спирт);
- ❖ концентрація етилового спирту в бражному дистиляті — 60 % об.;
- ❖ концентрація етилового спирту в барді — не перевищувала 0,015 % об.

За критерій оптимізації процесу брагоперегонки приймали концентрацію етилового спирту в БД і питому витрату гріючої пари, за якої втрати спирту з бардою були відсутні.

В ході досліджень встановлено, що при подовженні тривалості контакту пари і бражки на тарілках БК до 35 с концентрація етилового спирту в БД збільшувалась на 33 % (від 45 до 60 % об.) порівняно з існуючою типовою БК, яка працювала в стаціонарному режимі. Диференційований час затримки бражки по висоті БК забезпечував однаковий рівень бражки на всіх її тарілках висотою 40 мм. Перелив бражки з тарілки на тарілку відбувався протягом 1,7 с після закінчення заданого часу її затримки. Завдяки інтенсифікації переливу бражки пропускна здатність БК по рідині збільшилась на 17 % (від 15000 до 18000 дм<sup>3</sup>/год). В обраному технологічному режимі питома витрата гріючої пари на брагоперегонку зменшилась на 60 % (від 25 до 10 кг/дал в перерахунку на безводний спирт, введений на тарілку живлення). Це досягалося за рахунок суттєвого підвищення ККД лускоподібних тарілок в обраному гідравлічному режимі, за якого під час масообміну на кожній тарілці стан контактуючих фаз наближався до рівноважного. Подача підсвишньої промивної води на верхню тарілку БК дозволяла виключити можливість попадання зважених частинок бражки в міжтрубний простір підігрівача бражки. Управління циклами затримки

і переливу бражки та робота пневмоциліндрів відбувалися у стабільному режимі відповідно до програмного забезпечення автоматизованої системи. Програмне забезпечення підтримувало циклічний режим роботи БК за допомогою мікропроцесорного ПЛК M241 і SCADA робочого місця оператора.

Розрахунковий термін окупності БК циклічної дії за рахунок зменшення енерговитрат на перегонку бражки не перевищує 5 місяців.

### **Висновки.**

1. Запропоновано спосіб оптимізації процесу перегонки бражки в БК циклічної дії, оснащеної лускоподібними тарілками, в режимі періодичного переливу бражки по тарілках колони і безперервної подачі гріючої пари в її кубову частину.
2. Для реалізації інноваційного способу брагоперегонки розроблена конструкція БК циклічної дії і апаратурно-технологічна схема включення колони в роботу у виробничих умовах.
3. Встановлено оптимальні технологічні параметри роботи БК і гідравлічні режими роботи тарілок по висоті колони, які дозволили забезпечити однаковий рівень бражки на тарілках в період масообміну і здійснювати контрольовані у часі цикли її переливу.
4. Подовження тривалості перебування бражки на тарілках БК до 35—40 с дозволило збільшити концентрацію етилового спирту в БД на 33 % (від 45 до 60 % об.) в порівнянні з існуючою типовою БК, дія якої відбувалася в стаціонарному режимі.
5. Зменшення швидкості пари в щілинах лусок до 1,5—1 м/с через зменшення площі вільного перерізу тарілки від 51,7 до 2,5 % дає можливість зменшити час переливу бражки з тарілки на тарілку до 1,7 с і збільшити пропускну здатність колони по рідині на 17 % (від 15000 до 18000  $\text{дм}^3/\text{год}$ ).
6. Здійснення процесу брагоперегонки в обраному циклічному режимі дозволило зменшити питому витрату гріючої пари на 60 % (від 25 до 10 кг/дал в перерахунку на безводний спирт, введений на тарілку живлення).

7. Для досягнення показників, наведених вище, в БК циклічної дії достатньо встановити 24 тарілки із змінним вільним перерізом, що дозволяє зменшити металоємність технологічного обладнання.

### **Література.**

Булій, Ю.В., Ободович, О.М., Сидоренко, В.В. (2019). Визначення гідродинамічних характеристик роботи масообмінних колонних апаратів в циклічному режимі. *Теплофізика та теплоенергетика*, 41(4), 65—69.

Булій, Ю.В., Шиян, П.Л., Куц, А.М., Мельник, І.В. (2019). Технологія циклічної ректифікації у спиртовому виробництві, *Food Science and technology*, 13(4), 104—111.

Маринченко, В.О., Домарецький, В.А., Шиян, П.Л., Швець, В.М., Циганков, П.С., Жолнер, І.Д. (2003). *Технологія спирту*. Вінниця: «Поділля-2000».

Марценюк, О.С., Малежик, І.Ф., Зоткіна, Л.В. (2019). Тарілчасті апарати та їх удосконалення. *Наукові праці НУХТ*, 25(2), 121—133.

Українець, А.І., Шиян, П.Л., Сосницький, В.В. (2006). Перспективні напрямки енергозбереження в спиртовому виробництві. *Харчова і переробна промисловість*, 4, 4—12.

Цыганков, С.П. (2010). *Биоэтанол*. Киев: ООО «НПП «Интерсервис».

Шиян, П.Л., Сосницький, В.В., Олійничук, С.Т. (2009). *Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія*. Київ: Видавничий дім «Асканія».

Янчевский, В.К., Олійничук, С.Т., Кравчук, З.Д., Ковальчук, В.П., Михайло, В.Н. (2002). *Таблицы спиртометрические. Справочное пособие*. Киев: УкрНИИспиртбиопрод.

Янчевський, В.К., Ковальчук, В.П., Кравчук, З.Д., Попова, В.М., Олійник С.І. (1999). Інструкція по хіміко-технологічному контролю лікєро-горілчаного виробництва. Київ: УкрНДІспиртбіопрод.

Buetehorn, S., Paschold, J., Andres, T., Shilkin, A., Knoesche, C. (2015). Impact of the duration of the vapor flow period on the performance of a cyclic distillation. *Chemie Ingenieur Technik*, 87, 1070—1070.

Bulii, Y., Kuts, A., Yuryk, I., Forsiuk A. (2021). Improving the efficiency of mass-exchange between liquid and steam in rectification columns of cyclic action, *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 346—360.

Van Gerven, T., Stankiewicz, A. (2009). Structure, energy, synergy, time — the fundamentals of process intensification, *Ind Eng Chem Res*, 48, 2465—2474.

Pătruț, C, Bîldea, C.S, Liță, I, Kiss, A.A. (2014). Cyclic distillation — design, control and applications. *Separation and Purification Technology*, 125, 326—336.

Kiss, A. (2015). Pilot-scale studies of process intensification by cyclic distillation, *AIChE Journal*, 61, 2581—2591.

Kiss, A.A, Flores Landaeta, S.J, Edvin Zondervan, C.J. (2012). Cyclic distillation — towards energy efficient binary distillation. *Chemical Engineering and Chemistry*, 30, 697—701.

Plutowska, B., Wardenski, W. (2008). Application of gas chromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages — a review, *Food Chemistry*, 107, 449—463.