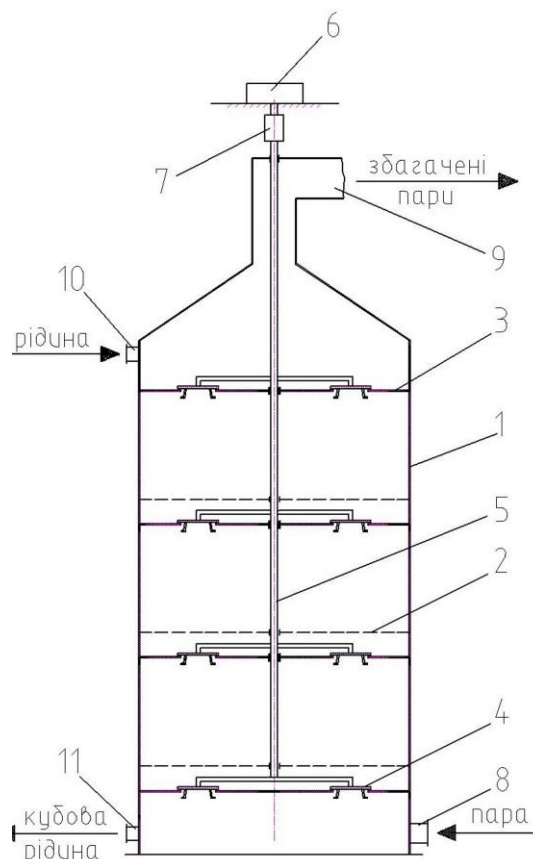


**Постановка проблеми.** Найбільш ефективно розділення летких компонентів на ступенях контакту відбувається в режимі роздільного руху фаз. Його використання дозволяє підвищити ефективність масообміну між рідиною і паром шляхом подовження проміжку часу перебування рідини на тарілках ректифікаційної колони до моменту досягнення стану фаз, наближеного до рівноважного, покращити органолептичні показники ректифікованого спирту, знизити металоємність обладнання, скоротити питомі витрати греючої пари та об'єми спиртовмісних відходів виробництва.

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

Заслужують на увагу наукові роботи, проведені в цьому напрямку на кафедрі процесів і апаратів Київського технологічного інституту харчової промисловості (нині НУХТ).

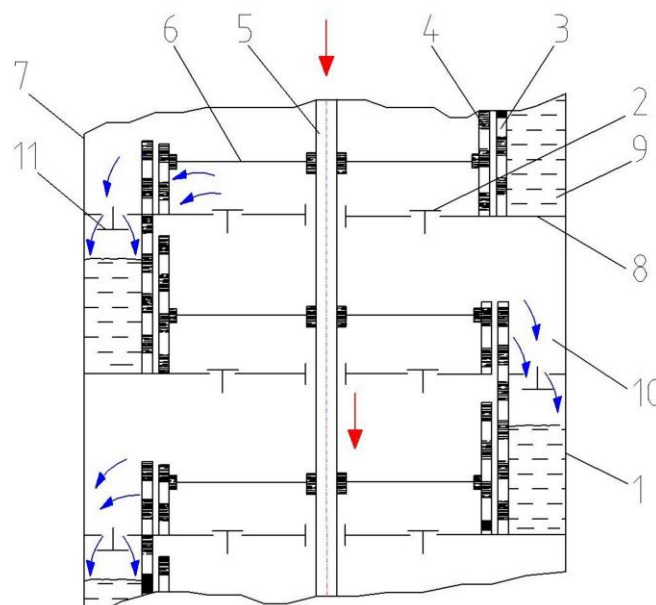
На рис. 1 показано повздовжній переріз масообмінного апарата з контрольованими циклами [1].



**Рис. 1. Масообмінний апарат з контрольованими циклами**

Апарат містить корпус 1 з ситчастими тарілками 2, над кожною з яких розміщені тарілки 3 з клапанами 4, що з'єднані між собою. Вільний переріз тарілок становить 70-75 %. Клапани 4 зв'язані з тягою 5, яка приводиться в рух приводним механізмом 6. Між приводом і корпусом апарата розташований пристрій 7 для регулювання висоти підйому клапанів 4. Корпус 1 містить патрубки 8 для подачі пари, 9 для відводу збагачених парів, 10 для вводу рідини та 11 для відведення кубової рідини. Апарат працює в режимі періодичної подачі пари та рідини на тарілку живлення. Пуск апарата здійснюється в рідинний період, коли клапани проміжних тарілок знаходяться у положенні «закрито». Рідина накопичується на клапанній тарілці 12 в якості рідинної затримки і перебуває на ній визначений термін часу. В кінці рідинного періоду подачу рідини закривають і в кубову частину подають пару (паровий період). Механічний привід 6 піднімає клапани 4, і рідина з тарілки 12 переливається на тарілку 2, на якій підхоплюється струменями пари. Швидкість пари в отворах тарілки досягає 10-15 м/с. Після відкриття клапанів 4 рідина перетікає з проміжної тарілки 2 на нижче розташовану тарілку 3. Таким чином протягом циклу проходить однакратна зміна рідинної затримки на всіх тарілках колони.

Результатом подальших наукових розробок науковців університету став тепломасообмінний апарат, представлений на рис. 2 [2].

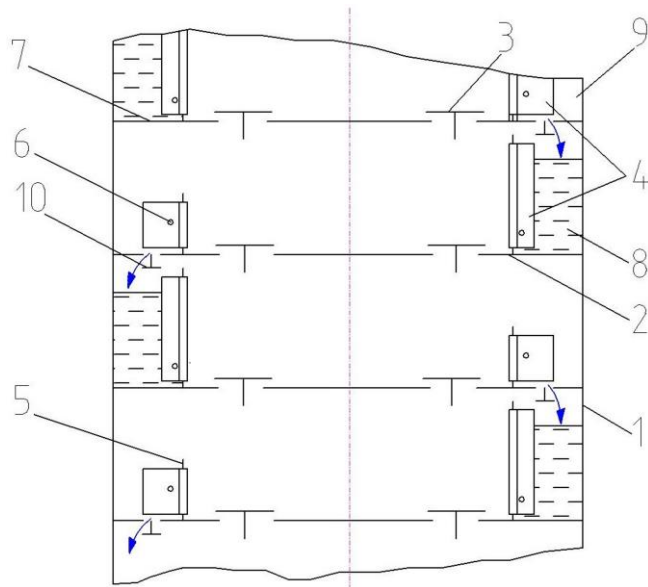


**Рис. 2. Тепломасообмінний апарат з перфорованими циліндрами**

Апарат містить корпус 1 з непровальними контактними елементами 2 (ковпачками, клапанами) і переливними пристроями, що складаються з двох коаксіально розміщених перфорованих циліндрів 3 і 4, один з яких (зовнішній 3) нерухомий, а другий (внутрішній 4) рухомий і з'єднаний з приводним механізмом 5 тягою 6. Зовнішній перфорований циліндр 3 разом з корпусом царги 7 утворює кільцевий простір, який розділений по висоті суцільними радіальними перегородками 8, що ділять кільцевий простір на накопичувальну 9 та зливну 10 камери. Для запобігання прориву пари в зливній камері встановлений зворотній клапан 11.

Спосіб масообміну відбувається наступним чином. В рідинний період, коли положення рухомого циліндра забезпечує перекриття отворів в нерухомому циліндрі на ділянці накопичувальної камери, в останню надходить рідина із трубопроводу, утворюючи рідинну затримку на тарілці. Перфорації в нерухомому та рухомому циліндрах на ділянці зливної камери в цей період співпадають (відкриті). Через заданий термін часу в початковий момент парового періоду спрацьовує привід, і рухомий циліндр переводиться в положення, при якому отвори в циліндрах на ділянці накопичувальної камери суміщаються (відкриваються), і рідина із накопичувальної камери переливається на полотно тарілки в зону барботажу до переливної перегородки, отвори якої в цей період циклу закриті. При цьому положення рухомого циліндра на ділянці зливної камери таке, що отвори в рухомому та нерухомому циліндрах не співпадають. Потік пари проходить крізь клапани, і на тарілці відбувається масообмін.

Вдосконалена конструкція вищеприписаного тепломасообмінного апарату представлена на рис. 3 [3].



**Рис. 3. Тепломасообмінний апарат з поворотними жалюзійними пластинами**

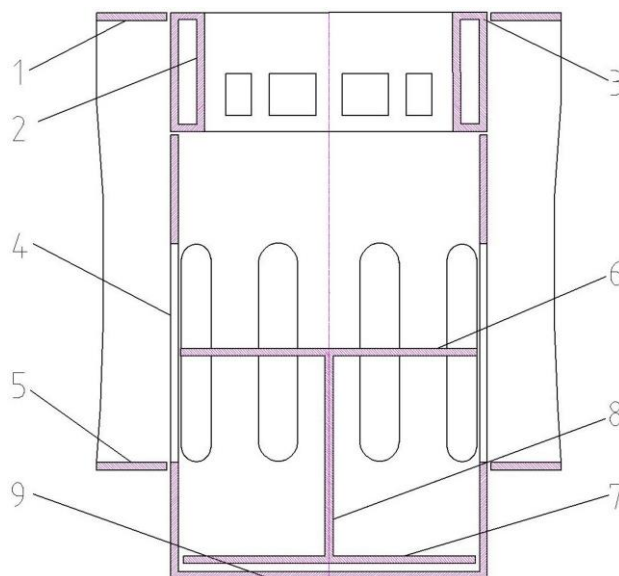
Апарат містить корпус 1, тарілки 2 з контактними елементами 3, переливні пристрої, що складаються з жалюзійних пластин 4, поворотних навколо осей та з'єднаних тягами 6 з приводним пристроєм. Пластини 4 разом з корпусом утворюють кільцевий простір, розділений по висоті суцільними радіальними перегородками 7, які ділять кільцевий простір на накопичувальну 8 і зливну камери 9. В зливній камері встановлений зворотній клапан 10, а жалюзійні пластини в камерах 8 і 9 розвернені в протилежні сторони.

Спосіб масообміну відбувається наступним чином. В рідинний період, коли жалюзійні пластини 4 закриті, в накопичувальну камеру 9 тарілки подається рідина із трубопроводу в об'ємі, рівному рідинній затримці. В цей час пара в колону не надходить, контактні елементи герметизують основне полотно тарілки, зворотній клапан 11 і жалюзійні пластини зливної камери знаходяться в положенні «відкрито». Через деякий термін часу подача рідини перекривається і в апарат подають пару. За сигналом командного пристрою привід переводить жалюзійні пластини 4 в положення «відкрито», і рідина розтікається по площині тарілки, контактуючи з парою. При цьому жалюзі перегородки на ділянці зливу закриті, що запобігає переливу рідини з тарілки в зливну камеру. Зворотній клапан 11 перекриває зливний отвір, запобігаючи проходженню пари через зливну камеру. Паровий та рідинний періоди повторюються по чергово.

Розглянуті вище масообмінні апарати, не зважаючи на підвищення розподільчої здатності контактних пристроїв, не знайшли широкого практичного використання. Причиною цього є складність конструктивних рішень щодо реалізації технологічного процесу, відсутність масообміну в період надходження рідини на тарілку або її переливу через необхідність почергової або імпульсної подачі рідинного та парового потоків, а також залежність регулювання об'ємної швидкості переливу рідини від тиску пари.

Співробітниками ТОВ «Техінсервіс-процес» запропонований енергозберігаючий спосіб масообміну між рідиною і паром, що передбачає здійснення контрольованої у часі затримки рідини на тарілках ректифікаційної колони, оснащеної масообмінними контактними пристроями, дія яких відбувається при періодичній подачі гріючої пари [4, 5]. Спосіб передбачає перелив рідини через перехідні ємкості в момент припинення подачі пари.

Контактний пристрій складається з тарілки 1, на якій закріплений контактний елемент 2 з відігнутими по дотичній пластинами барботажного вузла 3, обичайки 4 з отворами 10 і 11 під полотном тарілки 1, додаткового (нижнього) полотна тарілки 5, двостороннього клапана, який рухається в середині обичайки 4 і складається з верхньої 6 та нижньої 7 пластин, з'єднаних дистанційною стійкою 8 (рис. 4). Відігнутий нижній край обичайки 4 виконує функцію обмежувача опускання.



**Рис. 4. Масообмінний контактний пристрій**

В період подачі гріючої пари (паровий період) пара піднімається вгору по колоні (перелив рідини з тарілки на тарілку відсутній), піднімає клапан у верхнє положення таким чином, що верхня пластина 6 закриває отвір контактного елемента 2. Пара проходить через барботажний пристрій 3 і барботує через шар рідини. Після закінчення парового періоду подачу пари припиняють, і двосторонній клапан опускається донизу до тих пір, поки його рух не зупинить обмежувач опускання 9 обичайки 4. Рідина із зони барботажу на полотні тарілки 1 проходить через отвори 11 обичайки 4, попадає в перехідний об'єм. Час затримки подачі пари визначається часом переливу рідини з тарілки 1 у вищевказаний об'єм. В початковий момент подачі пари двосторонній клапан рухається вгору, а рідина вниз. В отвори обичайки 4 починає надходити пара, що барботує крізь рідину. Із збільшенням отвору швидкість пари падає, і рідина починає переливатися на нижче розташовану тарілку. Наступні паровий та рідинний цикли здійснюються аналогічно.

Експериментальні дослідження ефективності запропонованої технології проводились у виробничих умовах ДП «Ковалівський спиртовий завод» в процесі перегонки спиртової бражки та ДП «Липницький спиртовий завод» в процесі розгонки головної фракції етилового спирту. Для перегонки бражки була виготовлена і змонтована експериментальна колона діаметром 325 мм. Бражна колона мала 10 тарілок, відстань між якими дорівнювала 600 мм; вільний переріз тарілки становив 7 %. Гріюча пара подавалась в колону періодично з затримками 3-4 с. Розгінна колона діаметром 400 мм була оснащена 15 тарілками, відстань між якими дорівнювала 500 мм. Вільний переріз тарілки становив 7 %. Інтервал робочого циклу дорівнював 40 с., з них час переливу рідини - 10 с., час рідинної затримки - 30 с.

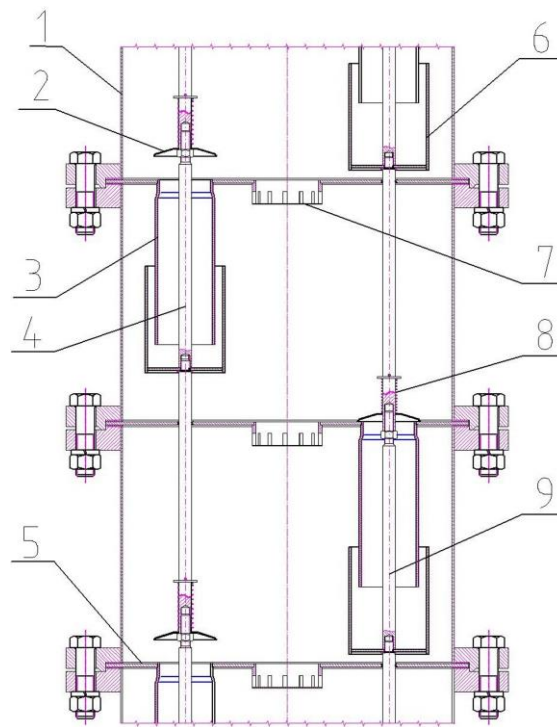
В ході виробничих випробувань визначено скорочення витрати гріючої пари в середньому на 40 % у порівнянні з типовими бражними і розгінними колонами, а також зниження металоемності обладнання. Разом з тим була відмічена залежність роботи переливних пристроїв від тиску пари, низька пропускна здатність колон по парі та рідині, відсутність масообміну в період

переливу рідини, виникнення імпульсу запізнення підняття клапанів по висоті колони та коливання тиску в загальному колекторі пари.

Для підвищення ефективності масообміну шляхом подовження часу контакту пари та рідини на тарілках ректифікаційної колони до моменту досягнення стану фаз, наближеного до рівноважного, співробітниками кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства НУХТ в співпраці з ТОВ «ТІСЕР» була запропонована енергозберігаюча технологія ректифікації в режимі роздільного руху фаз при безперервній подачі в колону пари та рідини [6]. Для проведення досліджень була розроблена конструкція ректифікаційної колони, дія якої забезпечує здійснення масообміну в заданому режимі [7].

**Метою роботи** було дослідження ефективності масообміну між рідиною і парою на тарілках розгінної колони в процесі вилучення етилового спирту із побічних продуктів і напівпродуктів брагоректифікації, а також встановлення питомих витрат грюючої пари на процес розгонки.

**Виклад основних результатів дослідження.** Випробовування проводились у виробничих умовах ДП «Чуднівський спиртовий завод». Об'єктом досліджень була розгінна колона, в якій відбуваються процеси вилучення етилового спирту із фракцій, збагачених леткими органічними домішками, що входять до складу головної фракції етилового спирту, погонів із конденсаторів бражної та спиртової колон, конденсатора сепаратора вуглекислого газу, спиртовловлювачів та сивушного спирту. Фрагмент експериментальної розгінної колони представлений на рис. 5.



**Рис. 5. Фрагмент розгінної колони з керованими циклами**

Колона діаметром 426 мм, висотою 11300 мм була оснащена 30 ситчастими контактними пристроями з отворами діаметром 2,4 мм. Відстань між тарілками становила 300 мм. Вільний переріз тарілок дорівнював 5,5 %. Колона містить корпус 1, тарілки 5 з контактними елементами 7 та переливними трубами 3, що вставлені в стакани 6. На рухомих тягах 4 і 9 були закріплені клапани 2. Тяги приводились у рух відповідно до програми контролера завдяки дії приводних механізмів (пневмоциліндрів типу DNT 63-50-PPV-A фірми FESTO). Клапани 2 по чергово відкривали та закривали переливні отвори парних та непарних за порядком розташування тарілок. Конструкція переливних пристроїв запобігала прориву пари в період переливу рідини. Для щільності клапани піджимались пружинами 8. Всі конструктивні елементи ректифікаційної установки були виконані із нержавіючої харчової сталі марки 12X18H10T.

Спиртовмісні фракції безперервно подавались на 20-у тарілку живлення. Їх витрати становили 96 дм<sup>3</sup>/год. в перерахунку на абсолютний алкоголь (а.а.). На верхню тарілку колони надходила гаряча пом'якшена вода для гідроселекції домішок, в нижню її частину безперервно подавалась гріюча пара. Надлишковий тиск в кубовій частині колони дорівнював 30 кПа, у верхній її

частині 2...5 кПа, температура кубової рідини – 98° С, в парі над верхньою тарілкою – 85° С. Температура води на охолодження на вході в конденсатор дорівнювала 15° С, на виході після дефлегматора – 65° С. Робочий цикл процесу дорівнював 40 с.: час затримки рідини – 13 с., час її переливу – 7 с. Концентрація етилового спирту в кубовій рідині не перевищувала 8 % об. Концентрат домішок відбирали із конденсатора колони в кількості 0,23...0,27 % від а.а. бражки. Очищену від головних та частини проміжних домішок кубову рідину насосом подавали на верхню тарілку бражної колони. Управління рухомими клапанами та роботою пневмоциліндрів, контроль технологічних параметрів (температури, тиску) відбувався за допомогою автоматичних датчиків, сигнал від яких передавався на мікропроцесорний контролер. За критерій оптимізації процесу розгонки приймали ступінь вилучення та кратність концентрування летких органічних домішок. Для їх розрахунку здійснювали хроматографічний аналіз дослідних проб живлення, кубової водно-спиртової рідини та естери-сивушного концентрату.

Експериментально встановлено, що при використанні інноваційної технології в повній мірі видаляються альдегіди та естери, ступінь вилучення вищих спиртів (верхніх проміжних домішок) та кінцевих домішок (метилового спирту) зростає на 38 %, кратність концентрування головних домішок підвищується на 25 %, вищих спиртів – на 40 %, метанолу – на 37 %. Питомі витрати гріючої пари для вилучення спирту із спиртовмісних фракцій становлять 11...13 кг/дал від а.а., що вводиться в колону. При цьому показники ректифікованого етилового спирту відповідають вимогам для високоякісного спирту «Люкс».

Після проведення випробовувань запропонована авторами технологія ректифікації була впроваджена у виробництво на ДП «Чуднівський спиртовий завод» і завдяки високій ефективності використовується по теперішній час.

**Висновки і перспективи подальших наукових досліджень.** Використання інноваційної технології ректифікації для розгонки спиртовмісних фракцій дозволяє підвищити ступінь вилучення та кратність концентрування головних

домішок спирту в середньому на 25 %, вищих спиртів сивушного масла та кінцевих домішок на 38 %, скоротити питомі витрати грюючої пари на 40 % у порівнянні з типовими ректифікаційними установками завдяки зменшенню вільного перерізу тарілок на 45...50 % та подовженню часу перебування рідини на тарілках розгінної колони. Час затримки рідини на ступенях контакту визначається експериментально і знаходиться в межах 10-40 с.

Перспективним напрямком роботи є проведення досліджень щодо підвищення експлуатаційних і технологічних характеристик брагоректифікаційних установок при використанні технології ректифікації в режимі роздільного руху фаз при безперервній подачі пари та рідини.

## ЛІТЕРАТУРА

1. А.с. № 185847 (СРСР). Массообменный аппарат для процессов в режиме с контролируемыми циклами /А.В.Копыленко и В.М.Таран. - Оpubл. в Б.И., 1983, № 44.
2. А.с. № 1360753 (СРСР). Тепломассообменный аппарат / А.В. Копыленко, В.М. Таран и В.А Заднепрный. – Оpubл. В Б.И., 1987, № 47
3. А.с. № 1360753 (СРСР). Тепломассообменный аппарат / А.В. Копыленко, В.М. Таран и В.А Заднепрный. – Оpubл. В Б.И., 1988, № 20.
4. *Патент України* 60566 А. Масообмінний контактний пристрій / Малета В.М., Щуцький І.В., Дмитрук А.П., Черняхівський Й.Б. - Заявлено 10.12.02; Оpubл. 15.10.03, Бюл. № 10.
5. *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; Оpubл. 15.10.03, Бюл. № 10.
6. *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; Оpubл. 10.03.10, Бюл. № 5.

7. Патент України 116565 B01D 3/30 (2006/01). Ректифікаційна колона з керованими циклами / Булій Ю.В., Дмитрук А.П., Дмитрук П.А. – Заявка u201612611. Заявлено 12.12.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.

### **АНОТАЦІЯ**

*Запропонована і впроваджена у виробництво інноваційна технологія ректифікації, що здійснюється в режимі роздільного руху фаз при безперервній подачі в ректифікаційну колону зріючої пари та рідини. Здійснення контрольованих циклів затримки і переливу рідини дозволяє підвищити ступінь вилучення та кратність концентрування головних домішок спирту в середньому на 25 %, вищих спиртів сивушного масла і кінцевих домішок на 38 %, скоротити питому витрату пари на 40 % у порівнянні з типовими ректифікаційними установками та знизити металоемність обладнання до 15 %.*

### **АННОТАЦИЯ**

*Разработана и внедрена в производство инновационная технология ректификации, которая осуществляется в режиме раздельного движения фаз при непрерывной подаче в ректификационную колонну зреющего пара и жидкости. Проведение контролируемых циклов задержки и перелива жидкости позволяет повысить степень извлечения и кратность концентрирования головных примесей спирта в среднем на 25 %, высших спиртов сивушного масла и концевых примесей на 38 %, сократить удельный расход пара на 40 % в сравнении с типовыми ректификационными установками и снизить металлоемкость оборудования до 15 %.*

### **ANNOTATION**

*Developed and put into production the innovative technology of rectification, which is carried out in a mode separate phase movement by*

*continuously feeding into the distillation column heating steam and liquid. The conduct of controlled delay loops and overflow of the liquid allows to increase the degree of extraction and the ratio of the concentration of head of impurities, alcohol an average of 25 %, higher alcohols fusel oil and impurities limit by 38 %, reduce specific steam consumption by 40 % compared to typical distillation plants an to reduce metal consumption of equipment by up to 15 %.*

Тип документа – стаття.