

УДК 663.551

Ю.В. Булій, канд. техн. наук

Ю.Б. Беляєв, д-р техн. наук

П.Л. Шиян, д-р техн. наук

І.В. Ельперін, д-р техн. наук

А.М. Куц, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

**КЕРУВАННЯ ЦИКЛАМИ РЕКТИФІКАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ
МЕХАНОТРОННИХ ПІДСИСТЕМ НА ОСНОВІ
ПНЕВМОЕЛЕКТРОАВТОМАТИКИ**

До 130-річчя НУХТ

Експериментально обґрунтовано доцільність використання механотронних підсистем в брагоректифікаційних установках. Технічне рішення дозволяє забезпечити роздільний рух рідинної і парової фаз, здійснювати керовані цикли затримки та переливу рідини, збільшити поверхню контакту фаз на 20 %, подовжити інтервал їх контакту на тарілках для досягнення фазової рівноваги, підвищити ефективність масообміну та ступінь вилучення ключових домішок.

Ключові слова: механотронна підсистема, ректифікація, органічні домішки, керовані цикли, колона, масообмін.

Дослідження фізико-хімічних умов процесів розділення багатокомпонентних систем, розробка на основі законів термодинаміки раціональних методів розрахунку і конструювання ректифікаційних колон, числа контактних пристроїв, оптимальних умов для ефективного контакту між паровою і рідинною фазами, створення систем автоматичного контролю та керування процесами масообміну залишаються актуальними проблемами і в теперішній час. Вирішенню поставлених задач присвячена велика кількість наукових праць видатних вчених [1].

© Ю.В. Булій, Ю.Б. Беляєв, П.Л. Шиян, І.В. Ельперін, А.М. Куц, 2014 р.

В Національному університеті харчових технологій (раніше Київському технологічному інституті харчової промисловості) під керівництвом професора Стабнікова В.М. була заснована всесвітньо відома наукова школа по створенню високоефективних масообмінних контактних пристроїв ректифікаційних колон. Вперше були проведені дослідження фазової рівноваги в бінарних та багатокомпонентних системах при атмосферному тиску та тиску, нижчого за атмосферний, запропоновані методи розрахунку конструкцій контактних пристроїв для барботажного і струменевого режимів, вивчені оптимальні умови їх дії (відстань між тарілками, швидкість пари у вільному перерізі колон та в щілинах контактних елементів, їх розміри, розташування та ін.), приведена порівняльна характеристика ефективності їх роботи.

Професор Циганков П.С. разом із учнями заснував наукову школу по розробці енерго- та ресурсозберігаючих БРУ підвищеної одиничної потужності. Під його керівництвом була розроблена і впроваджена у виробництво технологія розгонки головної фракції етилового спирту. Використання інноваційної технології дозволило збільшити вихід ректифікованого спирту з 94...96 до 98,0...98,5%, а органічні домішки відбирати у вигляді естеро-сивушного концентрату в кількості 0,1-0,2%. Роботи видатних вчених КТІХП отримали всесвітнє визнання, а їх монографіями і підручниками користуються фахівці не тільки в Україні, а і за її межами.

Продовжуючи традиції, використовуючи багаторічну практику та напрацьований досвід старших поколінь, фахівці НУХТ проводять системні дослідження, спрямовані на розробку і створення енерго- та ресурсозберігаючих БРУ підвищеної потужності для виробництва харчового, технічного спирту та паливного біоетанолу. Роботи в галузі теорії і практики ректифікації, виконані в університеті, були відзначені Державною премією України в галузі науки і техніки.

Ефективність вилучення і концентрування летких органічних сполук залежать від багатьох чинників: кількості колон і схеми їх обв'язки паровими та рідинними потоками, організації відбору вторинних і побічних продуктів із зон

їх максимального концентрування, їх кількості, температури та тиску в колонах, ефективності контактних масообмінних пристроїв, способів контактування фаз на поверхні тарілок тощо.

При застосуванні традиційних способів очистки спирту від домішок на типових брагоректифікаційних установках (БРУ) деякі з них зазвичай в незначних кількостях залишаються присутніми в товарному спирті. Для більш повного їх видалення в схеми БРУ крім основних ректифікаційних колон включують додаткові - сивушну, розгінну та колону кінцевої очистки. На рис.1 схематично показано рух основного продукту, напівпродуктів та відходів брагоректифікації, їх вміст у відсотках від абсолютного алкоголю (а.а.) бражки по елементам БРУ.

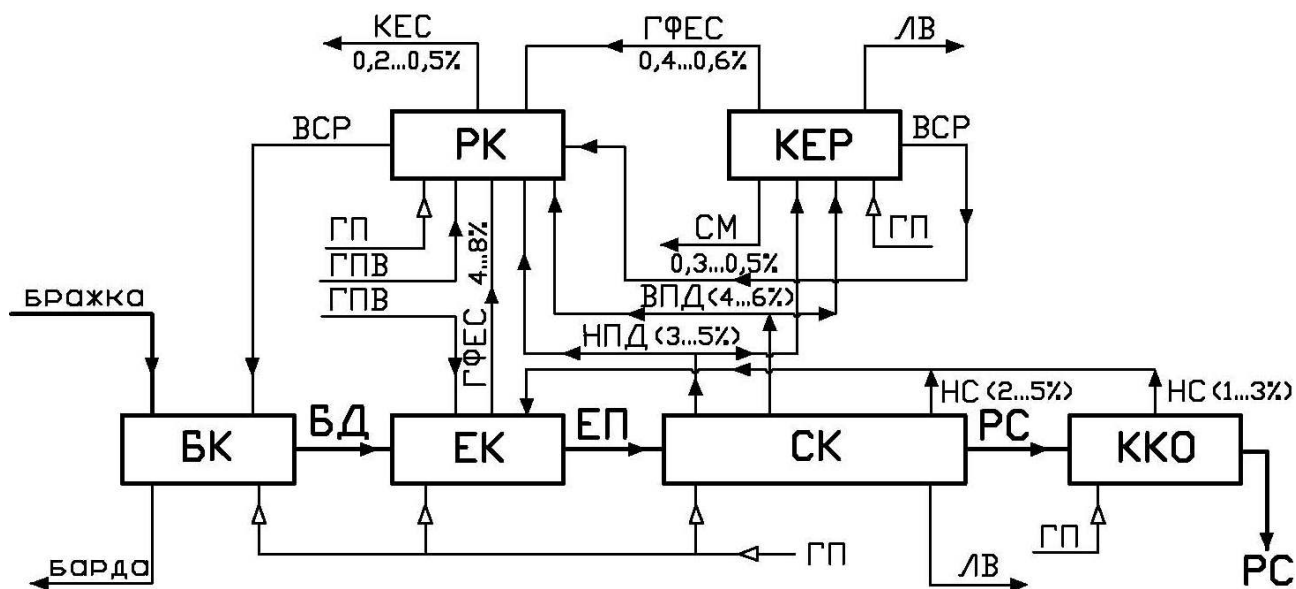


Рис.1. Схема руху спиртовмісних потоків, збагачених леткими органічними домішками, по елементам БРУ

Умовні позначення:

БК – бражна колона; ЕК – елюарційна колона; СК – спиртова колона; ККО – колона кінцевої очистки; РК – розгінна колона; КЕР – колона екстрактивної ректифікації; БД – бражний дистилят; ЕП – елюарат; РС – ректифікований спирт; ГФЕС – головна фракція етилового спирту; КЕС – концентрат естеро-сивушний; ЛВ – лютерна вода; ВСП – водно-спиртова рідина; ГП – гріюча пара; ГПВ – гаряча пом’якшена вода; СМ – сивушне масло; НПД – нижні проміжні домішки; ВПД – верхні проміжні домішки; НС – непастеризований спирт.

Основними елементами тарілчастих колонних апаратів є контактні пристрої, які повинні відповідати наступним вимогам: забезпечувати на поверхні тарілки запас рідини (рідинної затримки), досягнення необхідної роздільної здатності

при зміні навантаження по пару або рідині, малий гідравлічний опір паровому потоку, мінімальне винесення рідини з нижніх тарілок на верхні, можливість роботи апарата в різних адіабатичних умовах.

На кафедрі процесів і апаратів університету під керівництвом професора Тарана В.М. розроблені теоретичні основи циклічної ректифікації, запропонована конструкція колонних апаратів, дія яких дозволила забезпечити роздільний рух фаз по ректифікаційній колоні, інтенсифікувати процес масообміну за рахунок одноразової зміни рідинної затримки на тарілках, підвищити ефективність роботи контактних пристроїв в період подачі пари і зменшити її витрати [2].

Перші колонні апарати циклічної дії без переривання подачі рідинної та парової фаз були впроваджені у виробництво співробітниками кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства разом із спеціалістами ТОВ «Техінсервіс-процес». Їх дія передбачає проведення керованих циклів затримки рідини на тарілках колонного апарата та синхронного її переливу з тарілки на тарілку по всій висоті колони у два послідовних етапи, що повторюються по чергово за заданим алгоритмом [3].

Для здійснення керованих циклів ректифікації в процесі розділення багатокомпонентної суміші авторами запропоновано використання у складі БРУ механотронної підсистеми на основі пневмоелектроавтоматики. Механотроніка є своєрідною сучасною філософією проектування складних керованих технічних об'єктів. Науково-технічне рішення вважають механотронним, якщо складові компоненти не просто взаємодіють один з одним, але при цьому утворена система набуває нових властивостей, які не були притаманні її складовим. Механотронний підхід до розробки та впровадження технології керованої ректифікації полягає у тому, що при проектуванні брагоректифікаційного обладнання ректифікаційні колони повинні утворювати органічні цілісні електро-механо-пневмо-електронні технічні системи, що включають електронно-комп'ютерну апаратуру автоматизованого управління циклами затримки та переливу рідини,

контролювати та підтримувати технологічних параметрів процесу масообміну в заданих межах.

Метою роботи було дослідження ступеню вилучення та кратності концентрування ключових органічних домішок спирту в процесі розгонки спиртовмісних фракцій при використанні механотронної підсистеми для керування циклами ректифікації, розробка функціональної схеми автоматизації БРУ з використанням пневмоострову МРА/СРХ, побудова алгоритмів та розробка програмного забезпечення механотронної підсистеми управління процесами масообміну в БРУ на основі пневмоелектроавтоматики.

Експериментальні дослідження проводились у виробничих умовах Чуднівської філії ДП «Житомирський лікєро-горілочний завод». В даній роботі об'єктом досліджень було обрано розгінну колону (РК), в якій відбуваються процеси виділення та очистки етилового спирту із спиртовмісних фракцій, найбільше збагачених леткими токсичними домішками, що входять до складу головної фракції етилового спирту, а також погонів із конденсаторів бражної та спиртової колон, конденсатора сепаратора вуглекислого газу, спиртовловлювачів і сивушного спирту.

Для досягнення поставлених задач експериментальна РК була оснащена мікропроцесорною пневматикою фірми FESTO (стандартними пневмоциліндрами двобічної дії типу DNT 63-50-PPV-A), зв'язаною через рухомі тяги з клапанами, які по чергово відкривали та закривали переливні отвори парних і непарних за порядком розташування тарілок за заданим алгоритмом, та сучасними комп'ютерно-інтегрованими засобами (рис.2).

До основних переваг пневмоциліндрів типу DNT відносяться простота конструкції і технічного обслуговування, повна пожежо- і вибухобезпечність, надійність роботи в широкому діапазоні температур в умовах, в яких існує високий ризик спалаху або вибуху газу.

Управління клапанами та роботою пневмоциліндрів, контроль технологічних параметрів (температури, тиску) відбувався за допомогою автоматичних датчиків, сигнал з яких передавався на мікропроцесорний контролер.



Рис.2. Реалізація механотронної підсистеми для управління процесами масообміну в розгінній колоні

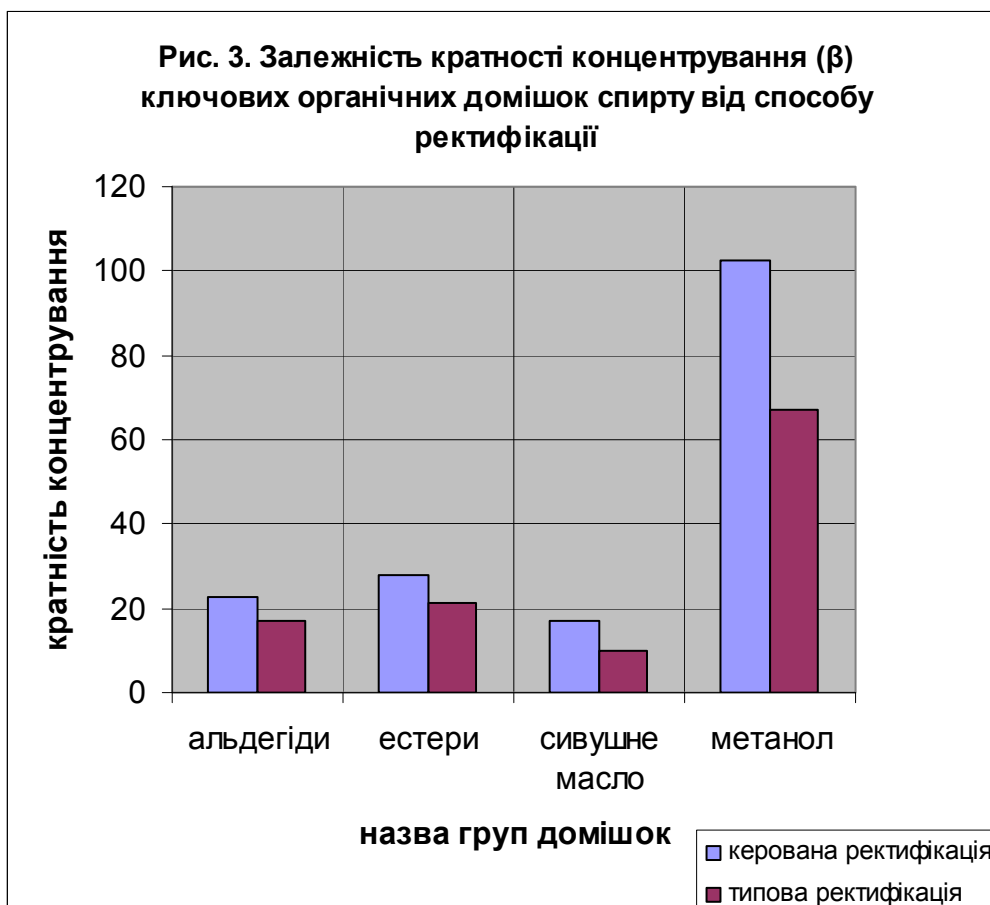
Результати досліджень ступеню вилучення та кратності концентрування ключових летких органічних домішок спирту в процесі розгонки спиртовмісних фракцій з використанням типової та керованої ректифікації приведені в таблиці 1 і представлені на рис. 3.

Для газохроматографічного аналізу відбирали проби живлення РК, кубової водно-спиртової рідини та КЕС. Витрати гріючої пари на процес визначали із теплового балансу за витратами води на охолодження та її температурою на вході в конденсатор і на виході після дефлегматора.

Експериментально доведено, що при використанні механотронної підсистеми в процесі розгонки спиртовмісних фракцій альдегіди та естери (головні домішки) видаляються в повній мірі, ступінь видалення (α) вищих спиртів (верхніх проміжних домішок) та метанолу (кінцевих домішок) зростає на 38 %. При цьому кратність концентрування (β) головних домішок - альдегідів та естерів зростає на 25%, вищих спиртів – на 40%, метанолу – на 37%.

**Ступінь вилучення ключових органічних домішок спирту
в умовах типової та керованої ректифікації**

Назва групи домішок	Концентрація, мг/дм ³			Ступінь вилучення (α)
	погони живлення	кубова рідина	КЕС	
етанол, видима концентрація, % об.	82,0	5,0	68,0	16,4
Типова ректифікація:				
альдегіди	605,0	7,0	10235	86,4
естери	637,7	8,0	13467	79,7
сивушне масло	27307,9	1293	272626	21,1
метанол, %	0,026	0,0016	1,75	16,2
Керована ректифікація:				
альдегіди	605,0	сліди	13591,2	макс.
естери	637,7	сліди	17905,2	макс.
сивушне масло	27307,9	793	462079	34,4
метанол, %	0,026	0,0010	2,66	26,0



При включенні в схему БРУ РК вихід ректифікованого етилового спирту збільшувався на 3,5...3,7 %, його показники відповідали нормативним для спирту «Люкс», а показники утвореного КЕС - вимогам технічних умов. В умовах керованої ректифікації витрати гріючої пари на процес розгонки скорочуються на 40 % і становлять 11-13 кг/дал а.а., що вводиться з живленням.

Реалізація електро-механо-пнеumo-електронної системи управління РК дозволяє збільшити поверхню контакту фаз на кожній тарілці на 20 % завдяки використанню всієї площі тарілки, виключити змішування рідини на суміжних тарілках колони, подовжити час контакту фаз для досягнення фазової рівноваги, підвищити ефективність масообміну і таким чином наблизити ефективність реальної тарілки до ефективності теоретичної. Час перебування рідини на тарілці залежить від концентрації летких органічних сполук у живленні, тому визначається дослідним шляхом. Безперервна подача гріючої пари дозволяє ліквідувати різкі коливання тиску в кубовій частині РК та дефлегматорі, які мали місце в типових колонних апаратах циклічної дії.

Отримані результати досліджень дозволили зробити висновок про доцільність використання механотронної підсистеми БРУ на основі пневмоелектроавтоматики у виробничих умовах для впровадження технології керованої ректифікації в бражній, епюраційній та спиртовій колонах. Реалізація запропонованого технічного рішення передбачає включення в пневматичну схему БРУ пневмоострову 32 МРА для регулювання та контролю роботи пневмоприводів за допомогою мікропроцесорного контролера М 340. Система управління включає в себе щит, в якому розташований контролер, і комп'ютер. Контролер М340 включає процесор, мережевий модуль, блоки аналогових і дискретних входів/виходів. На комп'ютері виконана умовна візуалізація технологічного процесу та надані необхідні засоби управління процесом. Для створення програмного управління пневмоциліндрами використано програмне середовище Unity Pro. Текст програми розроблений на двох мовах – FBD та ST.

Для віддаленого управління виконавчим механізмом з пневмоциліндрами та збору інформації від дискретних датчиків про їх положення через послідовний інтерфейс зв'язку, простоти монтажу пневматичної системи управління на об'єкті за рахунок підключення виконавчих механізмів шлангами через швидко роз'ємні з'єднання щита управління в системі автоматизації передбачено використання стандартної електропневматичної шафи серії EPCB-RIO-MPA-32/32 з типом інтерфейсу зв'язку Profibus-DP з блоком підготовки повітря.

Перспективним напрямком роботи є проведення досліджень ефективності запропонованої технології при її використанні у технологічних процесах перегонки зрілої бражки і очистки ректифікованого етилового спирту.

ВИСНОВКИ

Використання механотронних підсистем на основі пневмоелектроавтоматики в брагоректифікаційних установках дозволяє в повній мірі видаляти головні домішки, підвищити ступінь вилучення вищих спиртів сивушного масла та метилового спирту на 38 %, скоротити витрати гріючої пари на процес розгонки спиртовмісних фракцій на 40 % при збереженні високої якості товарного спирту.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Шиян П.Л.* Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. – К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. – 424 с.
2. *Патент на винахід 60565 B01D 3/00* Україна. Спосіб перетікання рідини на тарілках колонних масообмінних апаратів / Малета В.М., Щуцький І.В., Дмитрук А.П., Черняхівський Й.Б.; заявники та власники Малета В.М., Щуцький І.В., Дмитрук А.П., Черняхівський Й.Б. - № 2002129940; заявл. 10.12.2002; опубл. 15.10.2003, Бюл. № 10/2003.
3. *Патент на винахід 89874 B01D 3/00* Україна. 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. – № 200807767; заявл. 06.06.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5/2010.

Ю.В. Булий, Ю.Б. Беляев, П.Л. Шиян, И.В. Эльперин, А.М. Куц
УПРАВЛЕНИЕ ЦИКЛАМИ РЕКТИФИКАЦИИ С ПОМОЩЬЮ
МЕХАНОТРОННЫХ ПОДСИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ПНЕВМОЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Экспериментально обоснована целесообразность использования механотронных подсистем в брагоректификационных установках. Техническое решение позволяет обеспечить раздельное движение жидкостной и паровой фаз, осуществлять управляемые циклы задержки и перелива жидкости, увеличить поверхность контакта фаз на 20 %, продлить интервал их контакта на тарелках для достижения фазового равновесия, увеличить эффективность массообмена и степень извлечения ключевых примесей.

Ключевые слова: механотронная подсистема, ректификация, органические примеси, управляемые циклы, колонна, массообмен.

Y.V. Buliy, Y.B. Belyaev, P.L. Shiyan, I.V.Elperin, A.M.Kuts
AUTOMATED CONTROL CYCLES RECTIFICATION USING
OF MECHATRONICS SUBSYSTEMS

Experimentally expediency of using of mechatronics subsystems in rectification installations. Solution allows you to maintain separate the motion of the liquid and vapor phases, managed to delay loops and filling, increase the surface area of contact of phases by 20 %, to extend the interval of their contact on the plates for the achievement of phase balance, increase the efficiency of mass transfer and the degree of extraction of key contaminants.

Keywords: mechatronics subsystem, rectification, the organic impurities, managed cycles, column, mass-transfer.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

Булій Ю.В. Керування циклами ректифікації за допомогою механотронних підсистем на основі пневмоелектроавтоматики [Текст] / Ю.В. Булій, Ю.Б. Беляєв, П.Л. Шиян, І.В. Ельперін, А.М. Куц // Журн. «Наукові праці НУХТ». - 2014. Том 20, №3. -с. 17-23.