

## AUTOMATED CONTROL CYCLES RECTIFICATION USING OF MECHATRONICS SUBSYSTEMS

Y. Buliy, Y. Belyaev, P. Shiyan, I. Elperin, A. Kuts

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Mechatronics subsystem  
Rectification  
The organic impurities  
Managed cycles  
Column  
Mass-transfer*

**ABSTRACT**

The expediency of using mechatronics subsystems in rectification installations is substantiated in this article. The technical solution allows to provide a separate motion of liquid and vapor phases; control loops and filling; increase the surface area of contact of phases by 20 %; 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.

---

**Article history:**

Received 07.04.2014  
Received in revised form  
22.04.2014  
Accepted 15.05.2014

---

**Corresponding author:**

Y. Buliy  
**Email:**  
npnuht@ukr.net

---

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

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

*Національний університет харчових технологій*

*У статті експериментально обґрунтовано доцільність використання механотронних підсистем у брагоректифікаційних установках. Технічне рішення дає змогу забезпечити роздільний рух рідинної і парової фаз, здійснювати керовані цикли затримки й переливу рідини, збільшити поверхню контакту фаз на 20 %, подовжити інтервал їх контакту на тарілках для досягнення фазової рівноваги, підвищити ефективність масообміну й 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 й конструювання ректифікаційних колон, контактних пристроїв, оптимальних умов для ефективного контакту між паровою і рідинною фазами, створен-

ня систем автоматичного контролю та керування процесами масообміну залишаються актуальними проблемами і в теперішній час. Вирішенню поставлених завдань присвячена велика кількість наукових праць [1].

У Національному університеті харчових технологій (раніше Київському технологічному інституті харчової промисловості) під керівництвом професора В.М. Стабнікова заснована всесвітньовідома наукова школа зі створення високоєфективних масообмінних контактних пристроїв ректифікаційних колон. Вперше були проведені дослідження фазової рівноваги в бінарних і багатоконпонентних системах при атмосферному тиску й тиску, нижчому 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 і в щілинах контактних елементів, їх розміри, розташування тощо), проведена порівняльна характеристика ефективності їх роботи.

Професор П.С. Циганков разом з учнями заснував наукову школу з розробки 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 естери-сивушного концентрату в кількості 0,1—0,2%. Дослідження видатних вчених КТІХП отримали всесвітнє визнання, а їхніми монографіями і підручниками користуються фахівці не тільки в Україні, а й за її межами.

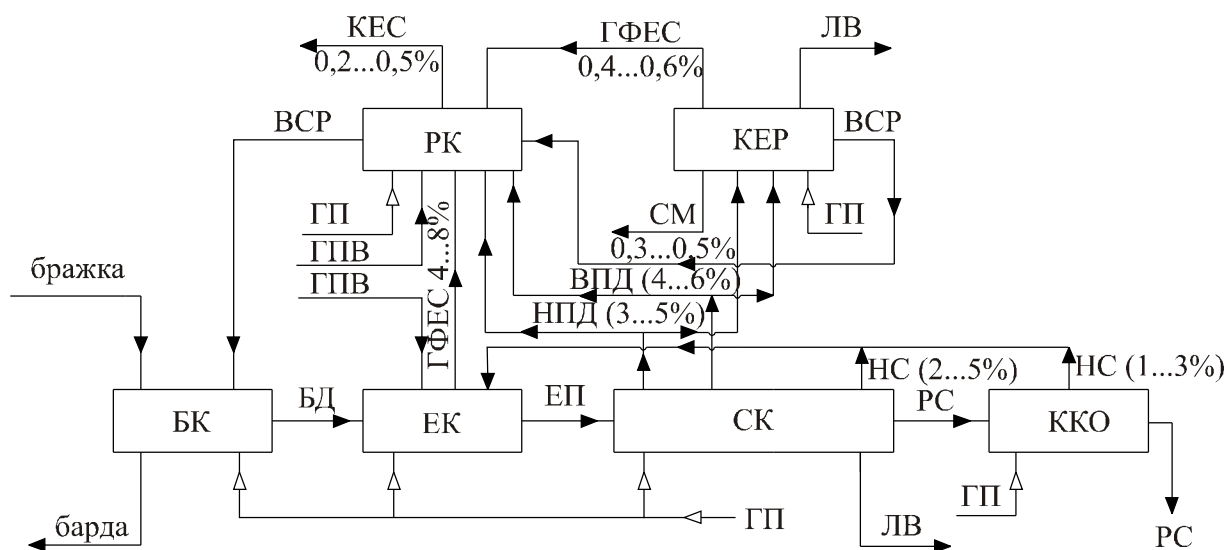
Продовжуючи традиції, використовуючи багаторічну практику та напрацьований досвід старших поколінь, фахівці НУХТ проводять системні дослідження, спрямовані на розробку і створення енерго- та ресурсозберігаючих БРУ підвищеної потужності для виробництва харчового, технічного спирту й паливного біоетанолу.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

Ефективність вилучення і концентрування легких 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 й 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 у незначних кількостях, наявні в товарному спирті. Для більш повного видалення в схемі БРУ, крім основних ректифікаційних колон, включають додаткові — сивушну, розгінну та колону кінцевої очистки. На рис. 1 схематично показано рух основного продукту, напівпродуктів і відходів брагоректифікації, їх вміст у відсотках від абсолютного алкоголю (а.а.) бражки по елементам БРУ.

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

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



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

Умовні позначення: БК — бражна колонна; ЕК — епюраційна колонна; СК — спиртова колонна; ККО — колони кінцевої очистки; РК — розгінна колонна; КЕР — колони екстрактивної ректифікації; БД — бражний дистилят; ЕП — епюрат; 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 таким вимогам: забезпечувати на поверхні тарілки запас рідини (рідинної затримки), досягнення необхідної роздільної здатності при зміні навантаження на пару або рідину, малий гідравлічний опір паровому потоку, мінімальне винесення рідини з нижніх тарілок на верхні, можливість роботи апарата в різних адіабатичних умовах.

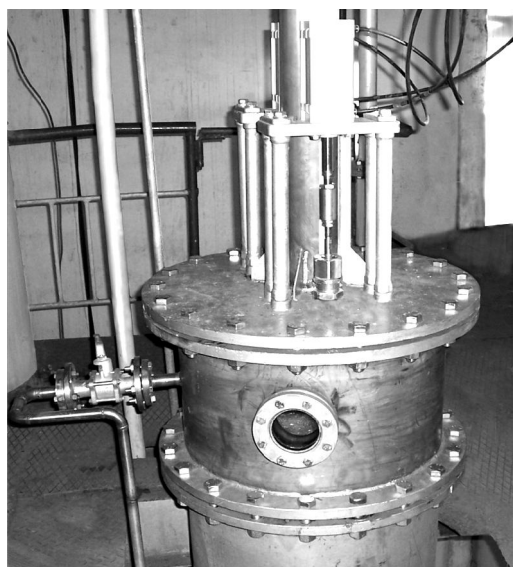
На кафедрі процесів і апаратів університету під керівництвом професора В.М. Тарана розроблені теоретичні основи циклічної ректифікації, запропонована конструкція колонних апаратів, дія яких дозволила забезпечити роздільний рух фаз по ректифікаційній колоні, інтенсифікувати процес масообміну за рахунок 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 «Гехінсервіс-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 в тому, що при проектуванні брагоректифікаційного обладнання ректифікаційні колони повинні утворювати органічні цілісні електро-механо-пнеumo-електронні технічні системи, що включають електронно-комп'ютерну апаратуру автоматизованого управління циклами затримки та переливу рідини, контролювати й підтримувати технологічних параметрів процесу масообміну в заданих межах.

Мета роботи полягала у дослідженні ступеня вилучення та кратності концентрування ключових органічних домішок спирту в процесі розгонки спиртовмісних фракцій при використанні механотронної підсистеми для керування циклами ректифікації, розробці функціональної схеми автоматизації БРУ з використанням пневмоострову МРА/СРХ, побудові алгоритмів і розробці програмного забезпечення механотронної підсистеми управління процесами масообміну в БРУ на основі пневмоелектроавтоматики.

Експериментальні дослідження проводились у виробничих умовах Чуднівської філії ДП «Житомирський лікєро-горілчаний завод». Об'єктом досліджень було обрано розгінну колону (РК), в якій відбуваються процеси виділення й 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.



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

Для вирішення поставлених завдань 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, по-

вна 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.

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

**Таблиця. Ступінь вилучення ключових органічних домішок спирту в умовах типової і керованої ректифікації**

Назва групи домішок	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>			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

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 й естери (головні домішки) видаляються в повній мірі, ступінь видалення (α) вищих спиртів (верхніх проміжних домішок) і 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 %.

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 із 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 та-

рільках 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 грючої пари дозволяє ліквідувати різкі коливання тиску в кубовій частині РК та дефлегматорі, які спостерігалися в типових колонних апаратах циклічної дії.

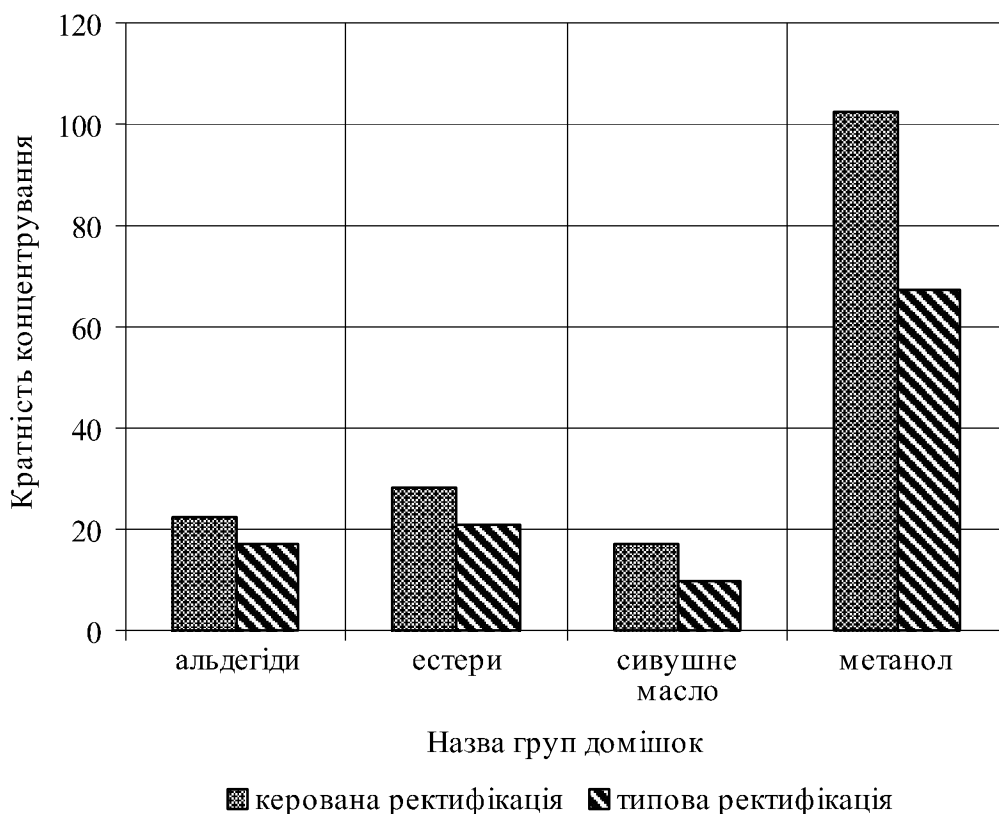


Рис. 3. Залежність кратності концентрування ( $\beta$ ) ключових органічних домішок спирту від способу реактивації

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, епіюраційній 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 ЕРСВ-RІО-МРА-32/32 з типом інтерфейсу зв'язку Profibus-DP з блоком підготовки повітря.

Перспективним напрямком є проведення досліджень ефективності запропонованої технології при її використанні у технологічних процесах перегонки зрілої бражки й 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 В01D 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 В01D 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.

## УПРАВЛЕНИЕ ЦИКЛАМИ РЕКТИФИКАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МЕХАНОТРОННЫХ ПОДСИСТЕМ НА ОСНОВАНИИ ПНЕВМОЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Ю.В. Булий, Ю.Б. Беляев, П.Л. Шиян, И.В. Эльперин, А.М. Куц  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье 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.