

УДК 663.551

С.В. Іванов, д-р техн. наук

П.Л. Шиян, д-р техн. наук

Ю.В. Булій, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

ВИКОРИСТАННЯ МЕХАНОТРОННИХ ПІДСИСТЕМ В ПРОЦЕСІ ВИЛУЧЕННЯ ТА КОНЦЕНТРУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОМІШОК СПИРТУ

До 130-річчя НУХТ

Експериментально обґрунтовано доцільність використання механотронних підсистем в брагоректифікаційних установках. Технічне рішення дозволяє забезпечити роздільний рух рідинної і парової фаз при безперервній подачі потоків, здійснювати керовані цикли затримки та переливу рідини, подовжити інтервал їх контакту, підвищити ефективність вилучення ключових домішок спирту на 38 % та зменшити витрати греючої пари на 40 %.

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

Вступ

Одним із основних споживачів енергоносіїв в агропромисловому комплексі України є спиртова галузь, зокрема, процеси брагоперегонки та ректифікації спирту. В НУХТ проводяться системні дослідження, направлені на розробку енергозберігаючих брагоректифікаційних установок (БРУ) з ступеневим перепадом тиску по окремим елементам установки. Їх використання дозволило зменшити витрати енергоносіїв на брагоректифікацію в середньому на 32 % і забезпечити конкурентоспроможність товарного етанолу як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку. Розроблено та налагоджено серійне виробництво вітчизняних БРУ, в результаті чого Україна перетворилась в експортера цього

© С.В. Іванов, П.Л.Шиян, Ю.В. Булій, 2014 р.

обладнання.

Питанням енерго- та ресурсозбереження присвячена велика кількість наукових праць видатних вчених [1]. В НУХТ (раніше КТІХП) під керівництвом професора Стабнікова В.М. була заснована всесвітньо відома наукова школа по створенню вискоєфективних 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 вперше 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%. На кафедрі процесів і апаратів під керівництвом професора Тарана В.М. розроблені теоретичні основи циклічної ректифікації. Її використання дозволяє підвищити ефективність роботи контактних пристроїв в період подачі пари і зменшити її витрати [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 і 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.

Процеси перегонки бражки та очистки етилового спирту від летких органічних домішок є завершальною стадією спиртового виробництва. При загальному вмісті домішок у спирті-сирці 0,3 – 0,5 % в їхньому складі ідентифіковано понад 50 сполук, які відносять до однієї із груп хімічних речовин: альдегідів і кетонів, естерів, вищих спиртів (сивушного масла) та органічних кислот. Серед ключових домішок спирту найбільшу концентрацію мають оцтовий, пропіоновий, мурашиний, масляний та кротоновий альдегіди, кетони - акролеїн, діацетил, ацетон, оцтовометиловий, оцтовоетиловий, масляноетиловий, діетиловий, пропіонметиловий, пропіонетиловий, ізомасляноізобутиловий ефіри, ізопропіловий, пропіловий, ізобутиловий, бутиловий, аміловий, ізоаміловий, метиловий, гексиловий, гептиловий спирти, оцтова, масляна, ізомасляна, валеріанова, ізовалеріанова, пропіонова кислоти, а також аміни – метиламін, диметиламін, триметиламін, етиламін, диетиламін, триетиламін та ін. Більшість з них є токсичними і можуть негативно впливати на якість товарного спирту.

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 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 включають додаткові - сивушну, розгінну та колону кінцевої очистки. На рис.1 схематично показано рух основного продукту, напівпродуктів та відходів брагоректифікації по БРУ, їх вміст вказаний у відсотках від абсолютного алкоголю (а. а.) бражки.

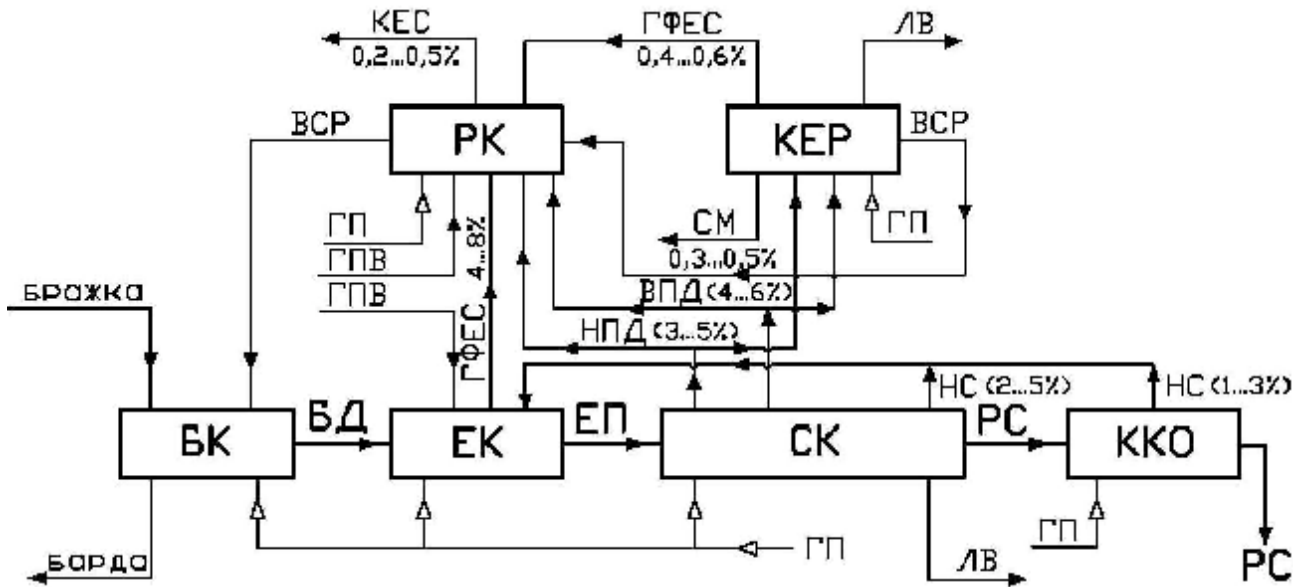


Рис.1. Схема руху спиртовмісних потоків, збагачених легкими органічними домішками, по елементам БРУ

Умовні позначення:

БК – бражна колона; ЕК – епіюраційна колона; СК – спиртова колона; ККО – колона кінцевої очистки; РК – розгінна колона; КЕР – колона екстрактивної ректифікації; БД – бражний дистилят; ЕП – епюрат; РС – ректифікований спирт; ГФЕС – головна фракція етилового спирту; КЕС – концентрат естери-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.

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» [3]. Для організації керованих циклів ректифікації в процесі розділення багатокомпонентної суміші авторами запропоновано використати у складі БРУ механотронні підсистеми на основі пневмоелектроавтоматики. Суть ідеї 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.

Мета роботи

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.

Результати досліджень

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, 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). 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.

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%.

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.

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

Назва органічних 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	1293,0	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	793,0	462079	34,4
метанол, %	0,026	0,0010	2,66	26,0

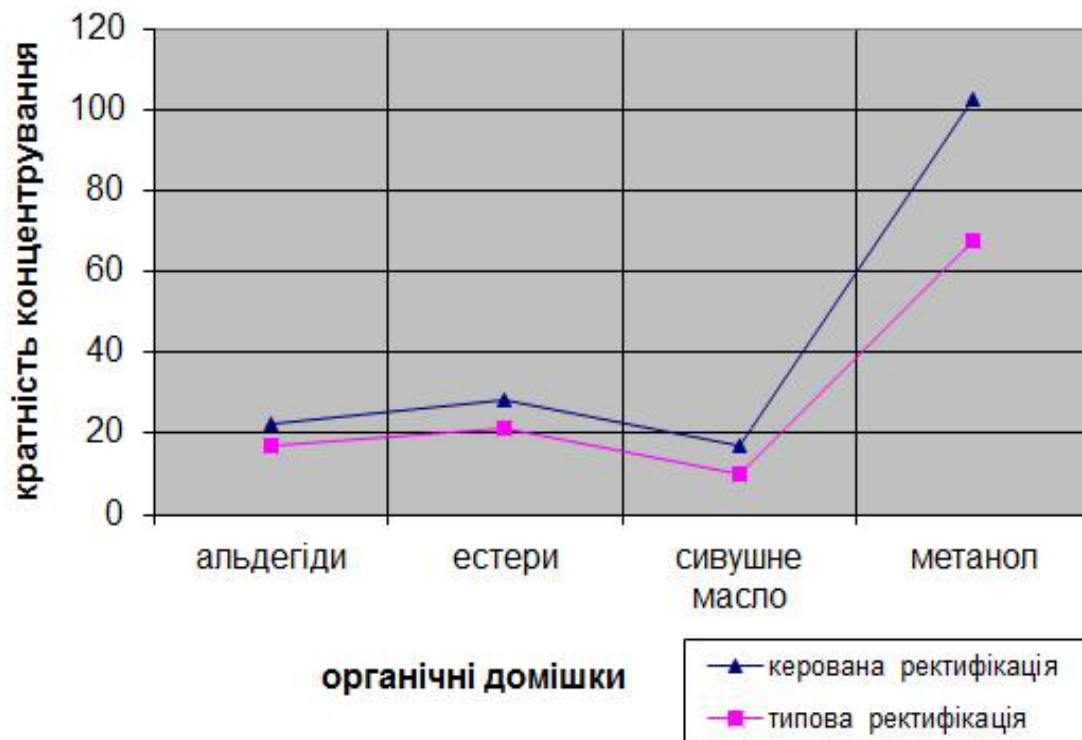


Рис. 3. Кратність концентрування (β) ключових органічних домішок спирту в умовах керованої та типової ректифікації

В умовах керованої ректифікації витрати грючої пари на процес розгонки скорочуються на 40 % і становлять 11-13 кг/дал а.а., що вводиться з живленням.

Реалізація електро-механо-пневмо-електронної системи управління РК дозволяє збільшити поверхню контакту фаз на кожній тарілці на 20 % завдяки раціональному 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 фізичної 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 мали місце в типових колонних апаратах циклічної дії.

Отримані результати досліджень дозволили зробити висновок про доцільність використання механотронних підсистем на основі пневмоелектроавтоматики у виробничих умовах для забезпечення роботи бражної, епюраційної та спиртової колон в режимі керованої ректифікації. Реалізація запропонованого технічного рішення передбачає включення в пневматичну схему БРУ пневмоострову 32МРА для регулювання та контролю роботи пневмоприводів за допомогою мікропроцесорного контролера М340. 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.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНОТРОННЫХ ПОДСИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ СПИРТА

С.В. Иванов, П.Л. Шиян, Ю.В. Булий

Экспериментально обоснована целесообразность использования механотронных подсистем в брагоректификационных установках. Техническое решение позволяет обеспечить раздельное движение жидкостной и паровой фаз при непрерывной подаче потоков, осуществлять управляемые циклы задержки и перелива жидкости, продлить интервал их контакта, повысить эффективность извлечения ключевых примесей спирта на 38 % и сократить расход греющего пара на 40 %.

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

THE USE OF MECHATRONICS SUBSYSTEMS IN THE PROCESS OF EXTRACTION AND CONCENTRATION OF ORGANIC IMPURITIES ALCOHOL

S. IVANOV, P. SHIYAN, Y. BULIY

The authors of the proposed technical solution for the creation and use of mechatronics subsystem for organizing managed cycles of rectification. It is established that the implementation of electro-mechanical and pneumo-electronic management system allows you to maintain separate movement phases under the continuous supply of the column of liquid and steam flows, to increase the surface area of contact of phases by 20 %, to extend the time of contact of phases to achieve the phase equilibrium between liquid and steam, increase the efficiency of mass transfer and bring efficiency of real plates to the effectiveness of the theoretical. The aldehydes and esters are allocated in full volume, the degree of extraction of higher alcohols and methanol will increase by 38 %, the concentration ratio of the head of admixtures increases by 25 %, higher alcohols 40 %, methanol by 37 %.

Innovative technology is useful for the organization of work of column for the production of alcoholic spirits, a column for the epuration of alcoholic distillate and alcohol columns with the purpose of improvement of quality of commodity spirit and to reduce the heating steam on the processes of distillation brew and cleaning of ethyl alcohol.

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

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

Іванов С.В. Використання механотронних підсистем в процесі вилучення та концентрування органічних домішок спирту [Текст] / С.В. Іванов, П.Л. Шиян, Ю.В. Булій // Журн. «Харчова промисловість». – К.: НУХТ, 2014. - № 15. - с. 36-41.