

УДК: 663.551

ІННОВАЦІЙНІ СПОСОБИ СПІЛЬНОЇ ПЕРЕРОБКИ ГОЛОВНОЇ ТА СИВУШНИХ ФРАКЦІЙ У ВИРОБНИЦТВІ РЕКТИФІКОВАНОГО СПИРТУ І БІОЕТАНОЛУ

Булій Ю.В.¹, канд. техн. наук, Юрик І.І.¹, канд. фіз.-мат. наук, Ободович О.М.², доктор техн. наук, Сидоренко В.В.², канд. техн. наук

¹Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, Київ, 01601, Україна

²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. М. Капніст, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2021.5>

У виробничих умовах досліджена ефективність сумісної переробки головної та сивушних фракцій в розгінній колоні циклічної дії. Визначені оптимальні технологічні параметри роботи колони. Розроблені математична модель, програма управління і людино-машинний інтерфейс (SCADA). Інноваційні способи дозволяють суттєво зменшити енерговитрати, витрати гарячої технологічної води на гідроселекцію, скоротити втрати етилового спирту, кількість спиртовмісних відходів, в повній мірі виділяти головні домішки, підвищити ступінь вилучення і кратність концентрування летких домішок сивушних фракцій і отримати спирт сорту «Люкс».

В производственных условиях исследована эффективность совместной переработки головной и сивушных фракций в разгонной колонне циклического действия. Определены оптимальные технологические параметры работы колонны. Разработаны математическая модель, программа управления и человеко-машинный интерфейс (SCADA). Инновационные способы позволяют существенно снизить энергозатраты, расход горячей технологической воды на гидроселекцию, сократить потери этилового спирта, количество спиртосодержащих отходов, в полной мере выделять головные примеси, повысить степень извлечения и кратность концентрирования летучих примесей сивушных фракций и получить спирт сорта «Люкс».

The efficiency of joint processing of head and fusel fractions in a column for the concentration of impurities of cyclic action under production conditions has been investigated. Optimum technological parameters of column operation have been determined. Mathematical model, control program and man-machine interface (SCADA) have been developed. Innovative methods allow reducing essentially power consumption, consumption of hot technological water for hydroselction, to reduce losses of ethyl alcohol, the quantity of alcohol-containing waste, to separate completely head impurities, to increase the degree of extraction and multiplicity of concentration of volatile of impurity of fusel fractions and to receive the alcohol of "Lux" mark.

Бібліографія 10, рис. 4, табл. 1.

Ключові слова: леткі домішки, етиловий спирт, масообмін, колона, ректифікація, гідроселекція.

В умовах зростаючих цін на енергоносії розробка і впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій, що забезпечують збільшення виходу ректифікованого етилового спирту завдяки його вилученню із спиртовмісних побічних продуктів і відходів виробництва, а також зменшення об'єму останніх є пріоритетним завданням у виробництві ректифікованого спирту і біоетанолу. Побічними продуктами ректифікації є головна фракція (ГФ) етилового спирту, сивушне масло і сивушний спирт.

Відомо, що вихід ректифікованого спирту на типових брагоректифікаційних установках непрямої дії складає 93...95 % від кількості спирту, введеного з бражкою. Частина спирту (0,8...1,2 %) втрачається з відходами - бардою, лютерною водою та неконденсованими газами. З головною фракцією і сивушним спиртом із установки виводиться 3...5 % етилового спирту, з сивушним маслом 0,3...0,45 % умовного спирту. У

безводній частині головної фракції, що відбирається із конденсатора епіюраційної колони, міститься 92...97% етилового спирту і 3...8 % летких домішок. Завдяки включенню в технологічну схему розгінної колони можливо виділити основну масу етанолу, а головні домішки отримати у концентрованому вигляді, внаслідок чого вихід ректифікованого спирту підвищується від 94...96 до 98...98,5 % від спирту, введеного з бражкою. У складі сивушного спирту міститься 25 - 30 % води, 45...60 % етанолу, 5...20 % вищих спиртів $C_3 \dots C_5$ (в основному пропанол і ізобутанол), ефірів 0,3...0,8 %, невелика кількість летких азотистих речовин, альдегідів і кислот. Сивушний спирт відбирають із 18, 20, 22 і 24-ї тарілок спиртової колони у кількості 0,8...2,5 % від спирту, введеного на її тарілку живлення. Сивушну фракцію відбирають з 5, 7, 9 і 11-ї тарілок цієї колони у кількості 3...5 % від кількості спирту, введеного на тарілку живлення. Вміст етилового спирту в ній становить 5...40 %.

За наявності сивушної колони сивушний спирт разом із сивушною фракцією подають у сивушну колону для вилучення етилового спирту [1].

Із практичного досвіду відомо, що існуючі способи сумісної переробки головних та сивушних фракцій в одній колоні не забезпечують ефективного видалення разом з головними проміжних домішок, що негативно впливає на якість товарного спирту. В процесі розгонки із нижньої частини декантатора з флегмою на верхню тарілку колони повертаються метанол, оцтовий, мурашиний, кротоновий альдегіди, частина спиртів сивушного масла (н-пропіловий та ізопропіловий спирти), акролеїн – домішки, які в незначних кількостях суттєво погіршують якісні показники ректифікованого спирту. Внаслідок накопичення вищевказаних домішок на тарілках розгінної колони останні потрапляють в кубову рідину і далі в бражку. Наростання їх концентрації в бражці призводить до збільшених витрат гріючої пари на їх вилучення в бражній колоні. У випадку подачі головної фракції, до складу якої входять переважно альдегіди, утворений концентрат в декантаторі не розшаровується. Крім того, відомі способи не забезпечують ефективної демульгації вищих спиртів сивушних фракцій через значно вищу за 25...35 °С температуру в декантаторі. За таких умов вищі спирти, які концентруються у верхньому шарі декантатора, утримують більше води та етанолу, в результаті чого вихід товарного спирту зменшується.

Для усунення вищевказаних недоліків типові брагоректифікаційні установки додатково оснащують розгінною і сивушною колонами. Таке технічне рішення потребує підвищених енерговитрат, збільшення металоемності установок, що призводить до зменшення собівартості ректифікованого спирту [2].

Метою роботи було розробка способів сумісної переробки головної та сивушних фракцій в розгінній колоні циклічної дії, визначення оптимальних технологічних параметрів роботи колони та перевірка ефективності інноваційних способів у виробничих умовах: визначення ступеню вилучення, кратності концентрування летких домішок і встановлення питомої витрати гріючої пари.

Матеріали і методи. Методи досліджень — аналітичні, хімічні, фізико-хімічні з використанням приладів та методики досліджень, що застосовуються у виробництві ректифікованого етилового спирту. Концентрацію летких домішок спирту визначали на газовому хроматографі з колонкою HP FFAP 50 m×0,32 m. Аналіз дослідних проб виконували згідно ДСТУ

4222:2003 «Горілки, спирт етиловий та водно-спиртові розчини. Газохроматографічний метод визначення вмісту мікрокомпонентів» [3].

Виклад основних результатів досліджень. Дослідження проводились у виробничих умовах Сторонибаського МПД ДП «Укрспирт». Для їх проведення була змонтована експериментальна розгінна колона циклічної дії, фрагмент якої показано на рис. 1.

Колона була оснащена лускоподібними тарілками в кількості 30 шт. Відстань між тарілками дорівнювала 300 мм. Поворотні сегменти тарілок були з'єднані з мехатронними підсистемами, управління якими відбувалося сучасними комп'ютерно-інтегрованими засобами [4]. Під час періодичного руху сегменти по чергово відкривали та закривали переливні отвори тарілок за заданими алгоритмом таким чином, щоб перелив рідини відбувався циклічно по висоті колони зверху до низу за безперервного руху гріючої пари знизу до верху. В момент відкривання рухомим клапаном переливного отвору площа вільного перерізу тарілки миттєво змінювалась від 2,6 до 51,7 %. Завдяки цьому швидкість пари в барботажах отворах ставала меншою за нижню критичну (1,5...1 м/с), і рідина синхронно переливалась через переливний отвір, що утворився, і провалювалась через всі барботажні отвори. Технічне рішення дозво-



Рис. 1. Експериментальна розгінна колона циклічної дії

лило інтенсифікувати процес переливу, зменшити час переливу до 1...2 с, подовжити інтервал контакту пари та рідини на тарілках до 40 с, підвищити таким чином ефективність масообміну (ступінь вилучення і кратність концентрування легких домішок) і збільшити пропускну здатність колони [5].

Переробку головної та сивушних фракцій здійснювали трьома способами. Апаратурно-технологічну схему установки для реалізації способу I представлено на рис. 2.

Установка включала збірники гарячої гідроселекційної води 1 і погонів живлення 16, відцентрові насоси 2 і 10, витратоміри 3, 9, 11 і 14, розгінну колону 4, нижню частину якої з'єднана трубопроводом з гідрозатвором 5 для виходу кубової рідини, а верхня з дефлегматором 6, конденсатором 7 і декантатором 8. Для охолодження сивушно-естеро-альдегідного концентрату домішок (СЕАК), який відбирали із верхньої частини декантатора 8 передбачено холодильник 12, для його промивки - екстрактор сивушного масла 13. Домішки у

виділі альдегідно-метанольного концентрату (АМК), який відбирали із конденсатора 7, і СЕАК направляли в збірник 15 [6].

Згідно способу I в збірник 16 подавали спиртовмісні головні та сивушні фракції: головну фракцію, сивушний спирт, сивушну фракцію, підсивушну промивну воду, погони із конденсаторів бражної колони і сепаратора вуглекислого газу, спиртовловлювачів та неастеризований спирт. В збірнику 16 погони підігрівали теплом гарячої лютерної води (ЛВ) до 80 °С і далі відцентровим насосом 10 подавали на тарілку живлення колони 4. В кубову частину колони 4 постійно надходила гріюча пара, а на верхню її тарілку гаряча вода на гідроселекцію (температурою 90...92 °С) у такій кількості, при якій концентрація етилового спирту в кубовій рідині становила 3...4 % об. Відомо, що за таких умов коефіцієнт ректифікації (К) і головних (ефірів та альдегідів), і проміжних домішок (вищих спиртів сивушного спирту і сивушної фракції) перевищує одиницю [3]. В процесі

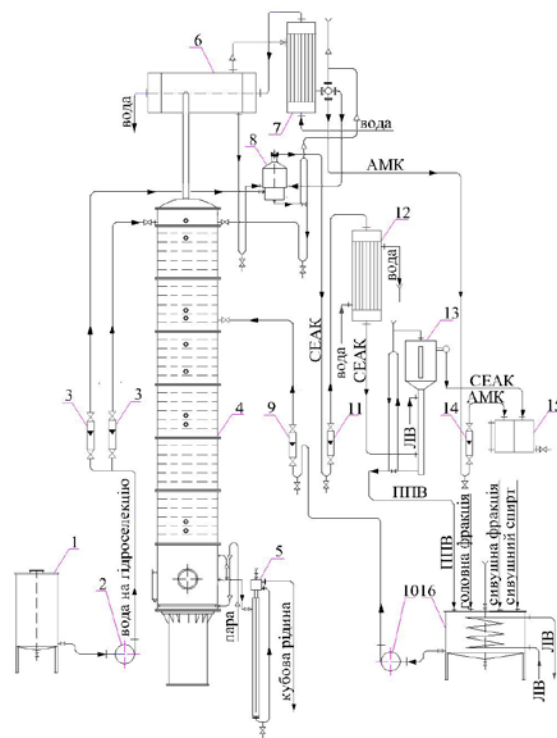


Рис. 2. Установка для сумісної переробки головної та сивушних фракцій за способом I:

1 – збірник води на гідроселекцію; 2, 10 – відцентрові насоси; 3, 9, 11, 14 – витратоміри; 4 – розгінна колона; 5 – гідрозатвір; 6 – дефлегматор; 7 – конденсатор; 8 – декантатор; 12 – холодильник; 13 – екстрактор; 15 – збірник концентрату домішок; 16 – збірник спиртовмісних фракцій.

АМК – альдегідно-метанольний концентрат; СЕАК – сивушно-естеро-альдегідний концентрат;

ЛВ – лютерна вода; ППВ – підсивушно-промивна вода

розгонки спиртовмісна суміш розділялась на два потоки: верхній, в якому містились головні та проміжні домішки спирту, і нижній - водно-спиртову суміш, звільнену від них. Пари із верхньої частини колони послідовно поступали в дефлегматор 6 і конденсатор 7. Більша частина парів конденсувалася в дефлегматорі 6 (висококиплячі компоненти – вода, вищі спирти, складні ефіри та етанол), а в конденсаторі 7 конденсувалися низькокиплячі естери, альдегіди, незначна кількість вищих спиртів і метиловий спирт. У ліхтарі конденсатора 7 відбувалося розшарування суміші: у верхньому шарі концентрувалися нерозчинні у воді альдегіди, естери та вищі спирти, які самопливом надходили в середню частину декантатора 8 і далі виводились у концентрованому вигляді із його верхньої частини у вигляді (СЕАК), а в нижньому – водорозчинні альдегіди і метанол (АМК), які виводились із конденсатора в збірник 15. Конденсат пари (флегма температурою близько 65 °С) із дефлегматора 6 та верхній шар рідини із ліхтаря конденсатора 7 самопливом надходили в середню частину декантатора 8. Для інтенсифікації процесу розділення суміші шляхом зменшення концентрації в ній етанолу від 68 % об. до 30...40 % об., і підвищення її температури в нижню частину декантатора 8 насосом 2 подавали гарячу

гідроселекційну воду. В декантаторі 8 відбувалося розшарування суміші. Величину відбору СЕАК контролювали за допомогою витратоміра 11. Вихід СЕАК складав 0,4...0,6 % від кількості спирту.

Звільнена від нерозчинних у воді домішок водно-спиртова рідина із нижньої частини декантатора 8 у вигляді флегми надходила на верхню тарілку колони 4. Після охолодження СЕАК в холодильнику 12 його направляли в нижню частину екстрактора сивушного масла 13, в якому здійснювали промивку (екстрагування етилового спирту) лютерною водою температурою 20...35 °С і РН 5...5,5. Після промивки СЕАК надходив у збірник 15, а промивну підсивушну воду повертали в збірник 16. Кубову водно-спиртову рідину, звільнену від домішок, використовували для проведення гідроселекції в епюраційній колоні.

Спосіб I дозволяє максимально звільнити кубову рідину від головних і проміжних домішок спирту та використовувати таку рідину для проведення гідроселекції в епюраційній колоні.

Для порівняння досліджували ефективність сумісної розгонки головної та сивушних фракцій за способом II (рис. 3).

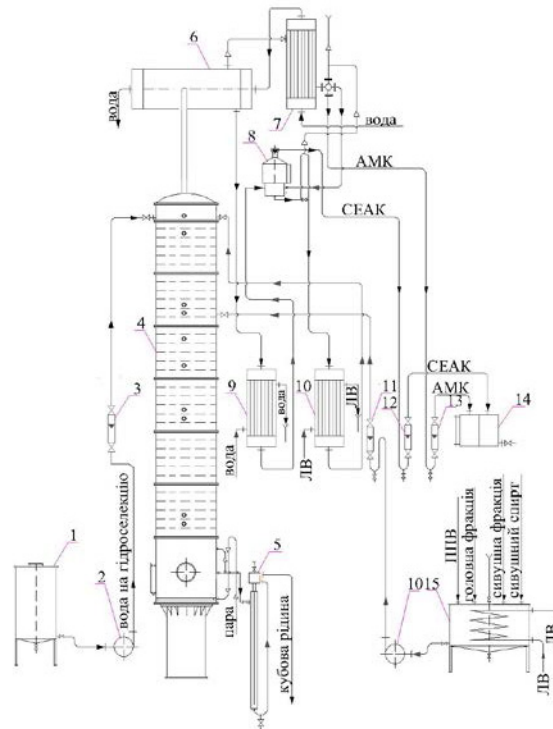


Рис. 3. Установка для сумісної переробки головної та сивушних фракцій за способом II:
 1 – збірник води на гідроселекцію; 2, 10 – відцентрові насоси; 3, 11, 12, 13 – витратоміри;
 4 – розгінна колона; 5 – гідрозатвір; 6 – дефлегматор; 7 – конденсатор; 8 – декантатор;
 9 – холодильник; 10 – підігрівач; 14 – збірник концентрату домішок; 15 – збірник спиртовмісних фракцій

Спосіб II передбачав охолодження флегми після дефлегматора 6 в холодильнику 9 до температури 20...35 °С, розділення суміші в декантаторі 8 на два шари – верхній (СЕАК), та нижній (очищену від домішок водно-спиртову рідину), нагрівання цієї рідини в теплообміннику теплом гарячої лютерної води, яка мала температурі 102-103 °С, до температури 90...92 °С і подачу гарячої рідини у вигляді флегми на верхню тарілку колони 4 на її зрошення. Вихід СЕАК становив в середньому 0,4...0,6 % від кількості ректифікованого спирту [7].

Спосіб II дозволяє суттєво покращити фізико-хімічні показники кубової водно-спиртової рідини, підвищити якість ректифікованого етилового спирту шляхом більш повного видалення летких органічних домішок із зон їх максимального накопичення та зменшення їх вмісту у флегмі, що надходили на зрошення розгінної колони.

Згідно способу III на верхню тарілку розгінної колони 4 і в нижню частину декантатора 8 одночасно подавали гарячу лютерну воду температурою 103 °С. При цьому концентрація етилового спирту в декантаторі зменшувалась до 30...40 % об. (рис. 4).

Через підвищення температури суміші в декантаторі більше 65 °С процес її розшарування прискорювався, але якість СЕАК, який відбирали з верхньої частини декантатора, погіршувалась. Крім того мали місце втрати етилового спирту з концентратом. Тому для підвищення ступеню концентрування вищих спиртів сивушного масла та запобігання втрат спирту проводили додаткову промивку СЕАК лютерною водою за температури 20...35 °С і рН 5...5,5 в екстракторі сивушного масла ректифікаційної колони. Після вилучення етилового спирту і води СЕАК направляли у збірник, а промивну підсивушну воду з вмістом етилового спирту 12...15 % об. повертали на тарілку живлення розгінної колони [8].

Вищеописаний спосіб III дозволив забезпечити максимальне видалення летких головних і проміжних домішок і зменшити втрати етилового спирту з концентратом домішок.

Оптимальними технологічними параметрами роботи розгінної колони циклічної дії були наступні: час затримки рідини на тарілках – 40 с; час переливу рідини з верхньої тарілки на нижню – 1,7 с; тиск в кубовій

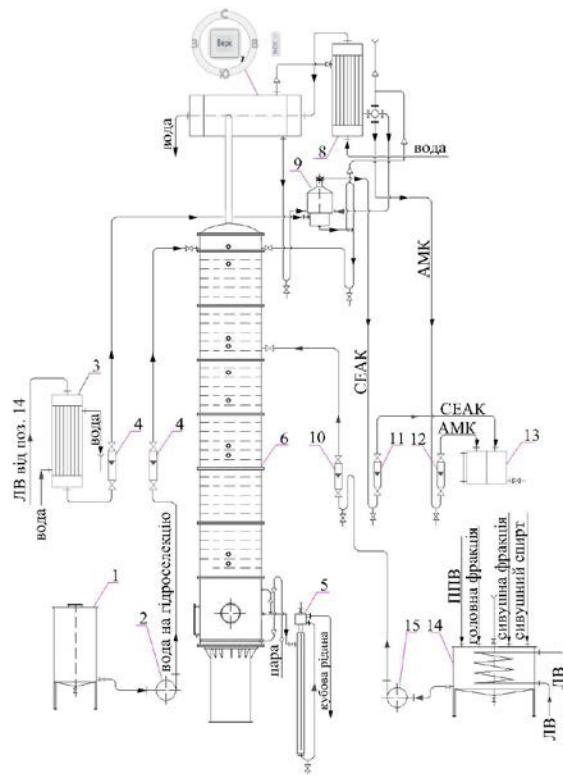


Рис. 4. Установа для сумісної переробки головної та сивушних фракцій за способом III:

1 – збірник води на гідроселекцію; 2, 15 – відцентрові насоси; 3 – холодильник;

4, 10, 11, 12 – витратоміри; 5 – гідрозатвір; 6 – розгінна колона; 7 – дефлегматор;

8 – конденсатор; 9 – декантатор; 13 – збірник концентрату домішок; 14 – збірник спиртовмісних фракцій.

частині колони 11,5...12 кПа; тиск у верхній частині колони – до 0,003 м.вод.ст.; температура в кубовій частині 100,5...101,5 °С; температура в паровій фазі над верхньою тарілкою 93,5...94 °С; температура в паровій фазі над тарілкою живлення 93,2...94 °С; температура води на гідроселекцію 95...98 °С; температура гетерогенної суміші в декантаторі 30...35 °С; витрати води на гідроселекцію 4050...4100 дм³/год.; температура в міжтрубному просторі конденсатора 45...50 °С; температура води для охолодження після дефлегматора 85...87 °С; концентрація етилового спирту в кубовій рідині 3...4 % об.; відбір АМК із конденсатора 7...9 дм³/год.; концентрація етилового спирту в АМК – 70,5 % об.; відбір СЕАК із декантатора 2...3 дм³/год.

Під час досліджень відбирали проби живлення (Ж), кубової рідини (КР), концентрату домішок (КД), епіурату (Е), головної фракції (ГФ) і ректифікованого етилового спирту (РС). Результати хроматографічного аналізу дослідних проб та розрахункові значення ступеню вилучення (α) і кратності концентрування (β) летких домішок за умови роботи колони в обраному технологічному режимі, наведені в таблиці.

Аналіз отриманих результатів показав, що при подовженні часу перебування рідини на тарілках колони до 40 с у всіх випадках повністю видалялися естери та ізопропіловий спирт, ступінь вилучення вищих спиртів сивушного масла збільшилась на 38 %, кратність концентрування головних домішок підвищилась на 25 %, а верхніх проміжних домішок – на 40 % в порівнянні з типовою установкою. При цьому питома витрата гріючої пари в процесі розгонки спиртовмісних фракцій в циклічному режимі зменшилась на 40 % (від 25 до 15 кг/дал безводного спирту, введеного на тарілку живлення), в порівнянні з установками, що працюють в стаціонарному режимі. За всіма показниками отриманий спирт етиловий ректифікований відповідав вимогам для сорту «Люкс», а концентрат летких домішок нормативним показникам згідно ТУ У 24.6-30219014-004:2005 [9,10]. Для оптимізації процесу розроблені

Таблиця. Результати хроматографічного аналізу дослідних проб і розрахункові значення ступеню вилучення (α) і кратності концентрування (β) летких домішок спирту

Група домішок	Концентрація, мг/дм ³ в перерахунку на безводний спирт						α	β
	Ж	КР	КД	Е	ГФ	РС		
Етанол, % об.	30,5	3,7	67	30,1	92,5	96,5	8,2	2,2
Альдегіди	318,6	2,75	2302	0,29	1135	0,18	115,9	7,2
Естери	40,5	—	448615	—	2395	—	∞	11077
Метанол, %	0,18	0,0003	2,69	0,0023	0,49	0,0003	600	14,9
Сивушне масло	105882	726,9	726463	1179,8	3113	0,88	145,7	6,9

математична модель, програма управління і людино-машинний інтерфейс (SCADA).

Висновки. Використання інноваційних способів дозволяє здійснювати сумісну переробку головної та сивушних фракцій у виробництві ректифікованого спирту та біоетанолу, збільшити вихід товарного спирту на 3,8 % і отримати ректифікований спирт сорту «Люкс». Запропоновані авторами технічні рішення дозволяють підвищити ефективність розділення спиртовмісної суміші в декантаторі, зменшити втрати етилового спирту з концентратом домішок, скоротити витрати гарячої технологічної води і суттєво зменшити кількість спиртовмісних відходів. Подовження інтервалу контакту пари і рідини на тарілках колони до 40 с дозволяє в повній мірі видаляти головні домішки та підвищити ступінь вилучення і кратність концентрування летких домішок сивушних фракцій на 38 %. При цьому питома витрата гріючої пари зменшується на 40 % в порівнянні з типовими установками.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Технологія спирту*/ Маринченко В.О., Домарецький, В.А., Шиян П.Л. та ін.; під ред. проф. В.О. Маринченко. Вінниця: «Поділля—2000», 2003. 496 с.
2. *Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т.* Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. 424 с.
3. *Горілки, спирт етиловий та водно-спиртові розчини.* Газохроматографічний метод визначення вмісту мікрокомпонентів: ДСТУ 4222:2003. — [Чинний від 2004-01-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2003.— 18 с.
4. *Патент України № 139228 В01D 3/00 (2006.01).* Колонний масообмінний апарат циклічної дії / Ю.В. Булій, А.П. Дмитрук, П.А. Дмитрук — Заявл. 12.06.2019; Опубл. 26.12.2019; Бюл. № 24/2019. — 4 с.

5. Булій Ю.В., Ободович О.М., Сидоренко В.В. Визначення гідродинамічних характеристик роботи масообмінних колонних апаратів в циклічному режимі Теплофізика та теплоенергетика. том 41, № 4. 2019, С. 65-69. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.9>
6. Патент України № 137550 В01D 3/00. Спосіб сумісної розгонки спиртовмісних фракцій, збагачених головними, проміжними та кінцевими домішками / Ю.В. Булій, А.П. Дмитрук, П.А. Дмитрук. — Заявл. 17.04.19; Опубл. 25.10.19; Бюл. № 20/2019. — 8 с.
7. Патент України 137553 В01D 3/00. Спосіб сумісної переробки головних та сивушних фракцій / Ю.В. Булій, А.П. Дмитрук, П.А. Дмитрук. — Заявл. 17.04.19; Опубл. 25.10.19; Бюл. № 20/2019. — 8 с.
8. Патент України 137555 В01D 3/00. Спосіб вилучення етилового спирту із головних та сивушних фракцій / Ю.В. Булій, А.П. Дмитрук, П.А. Дмитрук. — Заявл. 17.04.19; Опубл. 25.10.19; Бюл. № 20/2019. — 8 с.
9. Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови: ДСТУ 4221:2003. — [Чинний від 2008-01-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — 12 с.
10. Концентрат естери-сивушний. Загальні технічні умови: ТУ У 24.6-30219014-004:2005. — 17 с.

INNOVATIVE METHODS OF JOINT PROCESSING OF HEAD AND FUSEL FRACTION IN RECTIFIED ALCOHOL END BIOETHANOL PRODUCTION

Bulii Y.V.¹, Yuryk I.I.¹, Obodovych O.M.², Sydorenko V.V.²

¹ National University of Food Technologies, UKRAINE, 01601 Kyiv-33, Volodymyrska str. 68

² Institute of Engineering Thermophysics of National academy of sciences of Ukraine, UKRAINE, 03057 Kyiv, Marii Kapnist (Zhelyabov) 2a

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2021.5>

With rising energy prices, the development and implementation of innovative energy-saving technologies is a priority in the production of rectified alcohol and bioethanol. By-products of distillation are the head fraction of ethyl alcohol, fusel oil, and fusel alcohol.

Existing methods of joint processing of the head and fusel fractions in one column do not provide effective removal together head and intermediate impurities, which adversely affects the quality of commercial alcohol.

The aim of the work was to develop methods of joint processing of the head and fusel fractions in the column for the concentration of impurities of cyclic action, to determine the optimal technological parameters of the column, and to test the efficiency of innovative methods in production conditions: to determine the degree of extraction, the concentration of volatile impurities. Three schemes of processing of the head and fusel fractions are given.

The method I allowed to free the bottom products from the head and intermediate impurities of alcohol and use such a liquid for hydroselction in the epuration column. Method II allowed significantly improving the physicochemical parameters of the bottom water-alcohol products, improving the quality of rectified ethyl alcohol by more complete removal of volatile organic impurities from the zones of their maximum accumulation and reducing their content in the reflux entering the irrigation column. Method III allowed ensuring maximum removal of volatile head and intermediate impurities and reducing the loss of ethyl alcohol with the concentrate of impurities.

The use of innovative methods allows for joint processing of the main and fusel fractions in the production of rectified alcohol and bioethanol, to increase the yield of marketable alcohol by 3.8%.

References 10, tables 1, figures 4.

Key words: volatile impurities, ethyl alcohol, mass transfer, column, rectification, hydroselction.

1. *Marynchenko V.O., Domaretskyi, V.A., Shyian P.L.* et al. V.O. Marynchenko (Ed.) Alcohol technology. Vinnytsia: «Podillia—2000» [in Ukr.]

2. *Shyian P.L., Sosnytskyi V.V., Oliinichuk S.T.* [Innovative technologies of the alcohol industry. Theory and practice: a monograph]. Kyiv: [Askania Publishing House]. 2009. 424 p. [in Ukr.]

3. DSTU 4222:2003, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, [Vodka, ethyl alcohol and water-alcohol solutions. Gas chromatographic method for determining the content of microcomponents], 2003, [in Ukr.]

4. Patent № 139228 Ukraine, [Column mass transfer apparatus of cyclic action], 2019, [in Ukr.]

5. *Bulii Yu.V., Obodovych O.M., Sydorenko V.V.* [Determination of hydrodynamic characteristics of mass-exchange column apparatus operation in a cyclic mode]. [Industrial Heat Engineering]. 2019. V41, No 4. P. 65–69. <https://doi.org/10.31472/tpe.4.2019.9> [in Ukrainian].

6. Patent № 137550 Ukraine, [The method of joint separation of alcohol-containing fractions enriched in the head, intermediate, and tail impurities], 2019, [in Ukr.]

7. Patent № 137553 Ukraine, [Method of joint processing of main and fusel fractions], 2019, [in Ukr.]

8. Patent № 137555 Ukraine, [Method of extracting ethyl alcohol from head and fusel fractions], 2019, [in Ukr.]

9. DSTU 4221:2003, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, [Rectified ethyl alcohol. Specifications], 2007, [in Ukr.]

10. TU U 24.6-30219014-004:2005, [Estero-fusel concentrate. General technical conditions], 2005, [in Ukr.]

Отримано 04.10.2021

Received 04.10.2021