УДК 663.551

А.І. УКРАЇНЕЦЬ, д-р техн. наук

Ю.В. Булій, канд. техн. наук

П.Л. Шиян, д-р техн. наук

А.М. Куц, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

РЕСУРСО - ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ РЕКТИФІКОВАНОГО ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

Запропонована технологія ректифікованого етилового спирту, що дозволяє підвищити ефективність видалення головних, частини проміжних і кінцевих домішок спирту в брагоректифікаційних установках з мінімальними витратами води на гідроселекцію. Представлена апаратурно-технологічна схема установки, відповідно до якої для проведення гідроселекції в розгінній колоні здійснюють рециркуляцію кубової рідини колони екстрактивної ректифікації, в епюраційній колоні – кубової рідини розгінної колони, а в колоні екстрактивної ректифікації – кубової рідини спиртової колони. Проведені дослідження ефективності запропонованої технології у виробничих умовах. Установлено, що її використання дозволяє скоротити питомі витрати пом'якшеної води та енерговитрати на її нагрівання до 80 % у порівнянні з типовими схемами брагоректифікаційних установок.

Ключові слова: *ректифікація, кубова рідина, етиловий спирт, гідроселекція, рециркуляція, домішки.*

Постановка проблеми. Для отримання високоякісних спиртів категорії «Люкс», «Супер — Люкс», «Пшенична сльоза» необхідне більш глибоке вилучення та концентрування органічних домішок спирту, які негативно впливають як на фізико-хімічні, так і на органолептичні показники товарного

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

спирту. Для цього типові брагоректифікаційні установки (БРУ) дооснащують додатковими колонами — кінцевого очищення, розгінною та колоною екстрактивної ректифікації. Особливістю роботи таких установок є необхідність проведення гідроселекції для вилучення головних та проміжних органічних домішок спирту. Гідроселекція базується на властивостях основної маси домішок збільшувати леткість при зменшенні концентрації спирту в розчині. Для здійснення гідроселекції на одну із верхніх тарілок колони подають гарячу пом'якшену воду або конденсат пари у такій кількості, при якій коефіцієнт ректифікації домішок (*K*) перевищує одиницю.

Аналіз даних фазової рівноваги суміші етиловий спирт-вода-домішка вказує на те, що у слабоконцентрованих водно-спиртових розчинах з концентрацією етанолу в межах 20...30 % об. всі органічні домішки, крім метанолу і фурфуролу, мають явно виражений головний характер [1].

Ступінь вилучення (α) і кратність концентрування (β) летких органічних домішок залежить від співвідношення рідинного і парового потоків (L/G) та концентрації етанолу по тарілках колони. При сталих витратах потоків живлення та гріючої пари величина (L/G) і концентрація спирту по висоті колони залежать від кількості води, що надходить на гідроселекцію.

Для виділення етилового спирту із головної фракції (ГФ) в розгінній колоні витрати гарячої пом’якшеної води на гідроселекцію становлять 11,7…26,5 кг/кг абсолютного алкоголю (а.а.) в залежності від виду сировини, питома витрата пари — 200 % за масою ГФ. З метою більш повного вилучення домішок проводять подвійну гідроселекцію, що передбачає подачу розрахункової кількості води у верхні частини концентраційних зон розгінної та епюраційної колон. При цьому концентрація етилового спирту в кубовій рідині розгінної колони знижується до 6…8 % об., а в епюраті до 20…25 % об. За таких умов відбувається більш повне вилучення та концентрування головних і частини проміжних летких домішок, видалення яких дозволяє підвищити якість спирту та полегшити роботу спиртової колони. При цьому у ГФ, що відбирають із

конденсатора епюраційної колони, більш ніж у три рази збільшується концентрація складних естерів; концентрація кислот лишається практично без змін; вміст альдегідів дещо знижується при збільшенні подачі води більше 0,72 кг/кг а.а. Витрати гарячої пом'якшеної води на зрошення епюраційної колони становлять 0,55…0,90 кг/кг а.а., введеного в колону. Оптимальні витрати гріючої пари знаходяться в межах 1,8...2,0 кг/кг а.а. бражного дистиляту.

Застосування гідроселекції особливо доцільно при вилученні верхніх проміжних домішок (сивушного спирту) в розгінній колоні при концентрації кубової водно-спиртової рідини 4…4,5 % об. та нижніх проміжних домішок (вищих спиртів сивушного масла) в колоні екстрактивної ректифікації при концентрації етанолу в кубовій рідині 1,5…3,0 % об. [2].

Для проведення гідроселекції рекомендується використовувати пом'якшену воду або конденсат пари температурою 90…92^{o} С. Лютерну воду використовують в меншій мірі через значний вміст в ній органічних кислот, які сприяють новоутворенню органічних домішок.

Недоліком відомих способів отримання ректифікованого етилового спирту в типових БРУ, оснащених додатковими колонами, є значні витрати гарячої пом'якшеної води або конденсату пари для проведення гідроселекції головних та частини проміжних домішок, а також підвищені енерговитрати на її нагрівання до температури, що відповідає температурі в зонах її подачі у відповідні колони [3,4].

Метою роботи було розробка ресурсо- та енергозберігаючої технології ректифікованого етилового спирту за рахунок зменшення питомих витрат технологічної води для проведення гідроселекції домішок в розгінній, епюраційній колонах і колоні екстрактивної ректифікації та скорочення енерговитрат на її нагрівання шляхом рециркуляції кубової рідини спиртової, розгінної колон та колони екстрактивної ректифікації при виробництві високоякісних спиртів.

Виклад основних результатів дослідження. Для вирішення поставленої задачі авторами запропоновано здійснювати рециркуляцію кубової рідини

спиртової колони для проведення гідроселекції в колоні екстрактивної ректифікації, кубової рідини колони екстрактивної ректифікації для гідроселекції в розгінній колонні, а кубової рідини розгінної колони для гідроселекції в епюраційній колоні [5].

Дослідження ефективності запропонованого способу проводились у виробничих умовах ДП «Чуднівський спиртовий завод».

Апаратурно-технологічна схема ресурсо- та енергозберігаючої брагоректифікаційної установки з використанням запропонованого способу гідроселекції летких органічних домішок спирту представлена на рис. 1.

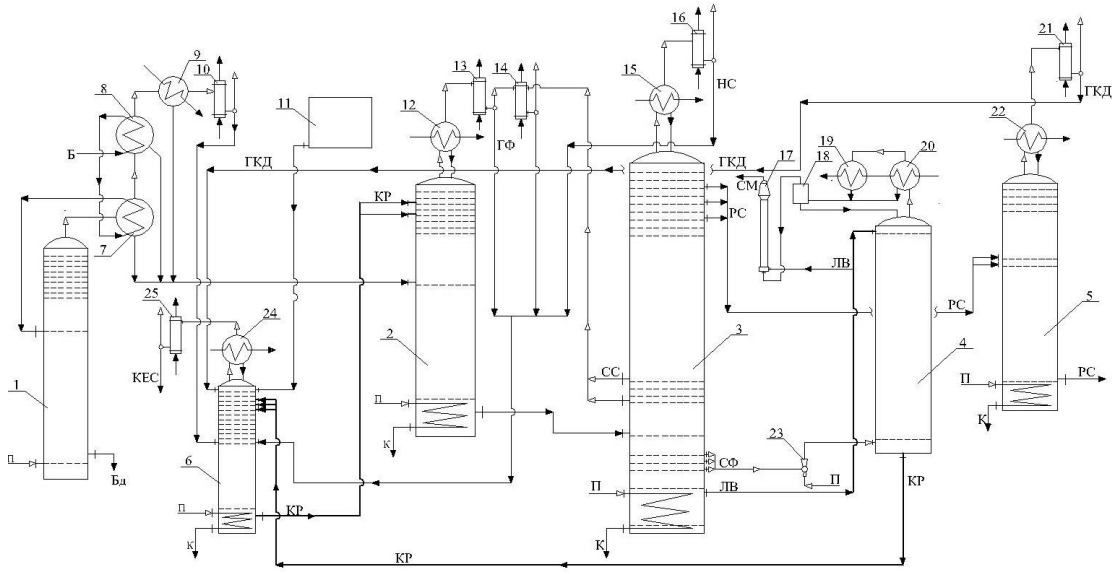

Рис. 1. Ресурсо- та енергозберігаюча брагоректифікаційна установка для отримання ректифікованого спирту високої якості

Колони: *1*-бражна, *2*-епюраційна, *3*-спиртова, *4*-екстрактивної ректифікації, *5*-кінцевої очистки, *6*-розгінна; *7, 8*-бражний підігрівач; *9*-водяна секція бражного підігрівача; *10, 13, 16, 19, 21, 25*-конденсатори; *12, 15, 20, 22, 24*-дефлегматори; *14*-конденсатор сивушного спирту; *11*-напірний збірник гарячої пом'якшеної води; *17*-екстрактор сивушного масла; *18*-декантатор; *23*-паровий ежектор.

Умовні позначення: *Б* – бражка; *Бд* – барда; *ГКД* – головні та кінцеві домішки; *ГФ* – головна фракція спирту етилового; *ЛВ* – лютерна вода; *СМ* – сивушне масло; *СФ* – сивушна фракція; *РС* - ректифікований спирт; *НС* – непастеризований спирт; *СС* – сивушний спирт; *КЕС* – концентрат естеро-сивушний; *К* – конденсат; *КР* – кубова рідина; *П* – пара.

Брагоректифікаційна установка включає бражну *1*, епюраційну *2*, спиртову *3*, розгінну *6* колони, колону екстрактивної ректифікації *4* та колону кінцевої очистки *5*, з'єднаних трубопроводами, а також відповідне теплообмінне

обладнання. Для обігріву колон в їх нижні частини подають гріючу пару *(П)*. При закритому обігріві відводять конденсат пари *(К)*. Бражку *(Б)* послідовно подають через другу *8* та першу *7* секції бражного підігрівача, де нагрівають водно-спиртовою парою бражної колони *1* до температури, близької до температури кипіння, і далі направляють на верхню тарілку бражної колони, в якій відбувається вилучення спирту та супутніх органічних домішок з бражки. Бражний дистилят із бражних підігрівачів *7, 8* та водяної секції підігрівача *9* подають на тарілку живлення епюраційної колони *2*, а конденсат пари з конденсатора *10* направляють на тарілку живлення розгінної колони *6*. З кубової частини бражної колони *1* відводять барду *(Бд)*.

В епюраційній колоні *2* здійснюють концентрування та вилучення головних і частини проміжних домішок спирту. Для цього у верхню зону її концентраційної частини подають кубову рідину *(КР)* розгінної колони *6*. Концентровані домішки у вигляді головної фракції спирту етилового *(ГФ)* відводять із конденсатора *13* епюраційної колони *2*.

Сивушний спирт *(СС)* відбирають із парової фази 18…23-ї тарілок спиртової колони *3*, направляють в міжтрубний простір конденсатора *14* і після їх конденсації виводять із установки разом з *ГФ*. Сивушну фракцію *(СФ)* відбирають із парової фази 5, 7, 9, 11-ї тарілок колони *3*. У верхній пастеризаційній частині спиртової колони *3* здійснюють концентрування головних домішок, які не в повній мірі вилучились в епюраційній колоні *2*. Ці домішки у вигляді непастеризованого спирту *(НС)* відводять через конденсатор *16* разом з *ГФ,* яку відбирають із конденсатора *13*, фракціями із конденсаторів *10* і *14* на тарілку живлення розгінної колони *6*. Із рідинної фази верхніх тарілок концентраційної частини спиртової колони *3* відбирають ректифікований спирт *(РС)* і направляють на тарілку живлення колони кінцевої очистки *5*, верхня частина якої з’єднана з дефлегматором *22* і конденсатором *21*. В колоні *5* відбувається очищення спирту від головних та кінцевих домішок *(ГКД)*, які відбирають із конденсатора *21* і далі направляють на верхню тарілку розгінної колони *6*.

З нижньої частини колони кінцевої очистки *5* відбирають товарний ректифікований спирт. Пари *СФ* змішують з гріючою водяною парою в ежекторі *23* і подають в кубову частину колони екстрактивної ректифікації *4*. На її верхню тарілку подають гарячу лютерну воду *(ЛВ)* з кубової частини спиртової колони *3*. В колоні *4* відбувається вилучення та концентрування спиртів сивушного масла *(СМ)*. Конденсат парів *СМ* із дефлегматора *20* та конденсатора *19* направляють в декантатор *18*, де відбувається розшаровування суміші: рідину із нижньої частини декантатора *18* повертають у вигляді флегми на верхню тарілку колони *4*, а *СМ* направляють в екстрактор *17*. В нижню його частину подають *ЛВ* для промивання масла. Концентроване *СМ* у вигляді товарного продукту відбирають з верхньої частини екстрактора *17*.

Використання *ЛВ* спиртової колони для проведення гідроселекції у колоні екстрактивної ректифікації не впливає на якість ректифікованого спирту, оскільки звільнена від вищих спиртів сивушного масла *КР* колони екстрактивної ректифікації з низьким вмістом етилового спирту (1,5…3,0 % об.) подається у концентраційну зону розгінної колони, в якій відбувається вилучення проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла, та їх концентрування.

КР колони *4* направляють на 3…5-ту тарілки, рахуючи зверху, розгінної колони *6* для гідроселекції проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла, та їх концентрування. На верхню тарілку колони *6* із збірника *11* подають гарячу пом’якшену воду для зниження концентрації етилового спирту в кубовій частині до розрахункової. В процесі розділення спиртовмісних фракцій в колоні *6* флегму із дефлегматора *24* повертають на верхню тарілку колони, а концентрат естеро-сивушний *(КЕС)* відводять із установки із конденсатора *25*.

Для здійснення гідроселекції в епюраційній колоні *2* у верхню зону її концентраційної частини подають очищену від головних та частини проміжних домішок *КР* розгінної колони *6*.

Облік конденсату пари для гідроселекції домішок в розгінній колоні, кубової рідини розгінної колони і лютерної води спиртової колони здійснюють за допомогою відповідних витратомірів.

Питомі витрати гарячої пом'якшеної води або конденсату пари для проведення гідроселекції домішок та питомі енерговитрати на нагрівання води (в перерахунку на 1 кг а.а., введеного в колону) згідно типового і запропонованого авторами способам приведені в таблицях 1 і 2.

Питомі та загальні витрати технологічної води для проведення гідроселекції домішок в колонах БРУ

Таблиця 1

Спосіб проведення гідроселекції	Питомі витрати технологічної води в колонах БРУ, $дм^3$/кг а.а.			Загальні витрати технологічної води	
	розгінна	епюраційна	екстрактивної ректифікації	$дм^3$/кг а.а.	%
типовий	4,7	0,7	18,1	23,5	100
запропонований	4,7	-	-	4,7	20

Питомі та загальні енерговитрати на нагрівання технологічної води для гідроселекції домішок

Таблиця 2

Спосіб проведення гідроселекції	Питомі енерговитрати на нагрівання води для проведення гідроселекції в колонах БРУ, кДж/кг а.а.			Загальні енерговитрати	
	розгінна	епюраційна	екстрактивної ректифікації	кДж/кг а.а.	%
типовий	590,8	88,0	2275,2	2951,0	100
запропонований	590,8	-	-	590,8	20

Згідно запропонованого способу для гідроселекції домішок в епюраційній колоні використовують кубову рідину розгінної колони, а для проведення гідроселекції в колоні екстрактивної ректифікації — кубову рідину спиртової

колони, тому витрати гарячої пом’якшеної води або конденсату пари в епюраційній колоні і колоні екстрактивної ректифікації відсутні.

За даними таблиць 1 і 2 видно, що запропонований спосіб дозволяє скоротити питомі витрати технологічної води та енерговитрати на її нагрівання до 80 % за рахунок рециркуляції кубової рідини спиртової, розгінної колон та колони екстрактивної ректифікації.

Висновки і перспективи подальших наукових досліджень. Результати експериментальних досліджень довели наступні переваги запропонованої технології ректифікованого етилового спирту:

1. Використання кубової рідини спиртової колони для проведення гідроселекції в колоні екстрактивної ректифікації дозволяє скоротити витрати технологічної води на 80 % в порівнянні з типовими схемами брагоректифікаційних установок та підвищити ефективність вилучення летких проміжних домішок.

2. Подача спиртовмісних фракцій, збагачених органічними домішками, з конденсаторів епюраційної та спиртової колон на тарілку живлення розгінної колони, кубової рідини колони екстрактивної ректифікації вище тарілки живлення (на 3…5-ту тарілки, рахуючи зверху), а гарячої пом’якшеної води для гідроселекції домішок на верхню її тарілку дозволяє понизити концентрацію етилового спирту на верхніх тарілках концентраційної частини розгінної колони і завдяки цьому скоротити витрати води на гідроселекцію до 30 %.

3. Подача кубової рідини колони екстрактивної ректифікації на 3…5-ту тарілки, рахуючи зверху, розгінної колони дозволяє утворити зону для ефективного концентрування проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла.

4. Енерговитрати на нагрівання технологічної води до температури, що відповідає температурі в зонах її подачі у відповідні колони, скорочуються на 80 % за рахунок рециркуляції кубової рідини спиртової, розгінної колони та колони екстрактивної ректифікації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологія спирту. В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л.Шиян, В.М. Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер. /Під ред. проф. В.О. Маринченко. – Вінниця.: «Поділля-2000», 2003. – 496 с.

2. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. – К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. – 424 с.

3. Патент РФ на изобретение № 2243812, МПК B01 D3/14. Способ получения ректификованного спирта / Перегыгин В.М., Паршина Т.А., Никитина С.Ю. – Заявлено 28.11.02; Опубл. 10.01.2005, Бюл. № 1.

4. Никитина, С.Ю. Самотехника и методики расчетов брагоректификационных установок: монография / С.Ю. Никитина, Воронежский ГАСУ. – Воронеж, 2013. – 208 с.

5. Патент України на корисну модель № 119277, МПК B01D 3/14. Спосіб отримання ректифікованого спирту / Булій Ю.В., Шиян П.Л., Дмитрук А.П., Дмитрук П.А. – Заявлено 23.01.17; Опубл. 25.09.17, Бюл. № 18.

А.И. Украинец, Ю.В. Булий, П.Л. Шиян, А.М. Куц

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕКТИФИКОВАННОГО ЭТИЛОВОГО СПИРТА

Разработана технология ректификованного этилового спирта, позволяющая повысить эффективность выделения головных, части промежуточных и концевых примесей спирта в брагоректификационных установках с минимальным расходом воды на гидроселекцию. Представлена аппаратурно-технологическая схема установки, в соответствии с которой для проведения гидроселекции в разгонной колонне осуществляют рециркуляцию кубовой жидкости колонны экстрактивной ректификации, в эпюрационной колонне – кубовой жидкости разгонной колонны, а в

колонне экстрактивной ректификации – кубовой жидкости спиртовой колонны. Проведены исследования эффективности предложенной технологии в производственных условиях. Установлено, что ее использование позволяет сократить удельный расход умягченной воды и энергозатраты на ее нагревание до 80 % в сравнении с типовыми схемами брагоректификационных установок.

Ключевые слова: *ректификация, кубовая жидкость, этиловый спирт, гидроселекция, рециркуляция, примеси.*

A.I. Ukrainets, Y.V. Buliy, P.L. Shiyan, A.M. Kuts

RESOURCE - SAVING TECHNOLOGY OF RECTIFIED ETHYL ALCOHOL

The technology of rectified ethyl alcohol, which allows to increase the separation efficiency head, of the intermediate and end impurities of the alcohol in distillation and rectification plants with minimal water consumption for hydroselection. Presented a hardware-technological scheme of the distillation plant, in accordance with which to conduct hydrocelectomy in acceleration column are recycling the bottom liquid of the column for extractive distillation, in epuration column - bottom liquid acceleration column, and in the column for extractive distillation - bottoms liquid alcohol column. Conducted studies of the effectiveness of the proposed technology in a production environment. It is established that its use allows to reduce specific consumption of softened water and the energy consumption for heating by up to 80 % in comparison with the standard schemes of distillation and rectification plants.

Keywords: *rectification, bottom liquid, ethyl alcohol, hydroselection, recycling, impurities.*