

УДК 663.551

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ РЕКТИФІКОВАНОГО ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

Булій Ю.В.¹, к.т.н., Ободович О.М.², д.т.н., Степанова О.Є.³, к.т.н.¹проф.н.с., доцент, Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська 68, Київ, 01601, Україна, Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1905-3706>, e-mail: yvbuliy@gmail.com²професор, завідувач відділу Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7213-3118>, e-mail: tdsittf@ukr.net³с.н.с. Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7179-7251>, e-mail: super-olesya2807@ukr.net<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2024.6>

У виробничих умовах визначена ефективність інноваційної технології ректифікованого спирту, яка передбачає подачу на тарілку живлення розгінної колони спиртовмісних фракцій у вигляді несконденсованої в дефлегматорах основних колон пари. Таке рішення дозволяє зменшити загальні витрати води на 0,032 м³/дал (5,1 %), а гріючої пари на 1,2 кг/дал (1,9 %) в перерахунок на безводний спирт у порівнянні з відомим способом. Очікуваний прибуток для заводу потужністю 3000 дал спирту на добу становитиме близько 1,5 млн. грн. на рік. Збільшення кількості несконденсованої пари від 2 до 5 % для живлення колони дозволить зменшити витрату гріючої пари від 10 до 8,8 кг/дал, а прибуток збільшити на 33,3 %. Під час випробувань якісні показники ректифікованого спирту відповідали нормативним для сорту "Люкс".

The efficiency of the innovative technology of rectified alcohol has been determined under production conditions, which provides for the supply of alcohol-containing fractions in the form of non-condensed in the deflegmators of the main columns of vapour to the feed plate of the impurity concentration column. This solution allows to reduce the total water consumption by 0,032 m³/dal (5,1 %) and the heating vapour by 1,2 kg/dal (1,9 %) in terms of anhydrous alcohol in comparison with the known method. The expected profit for the plant with a capacity of 3000 dal of alcohol per day will be about UAH 1,5 million per year. Increasing the amount of non-condensed vapour from 2 to 5 % to feed the column will reduce the heating vapour consumption from 10 to 8,8 kg/dal, and increase the profit by 33,3 %. During the tests the qualitative indicators of rectified alcohol corresponded to the normative ones for "Lux" grade.

Бібл. 11, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: брагоректифікаційна установка, розгінна колона, дефлегматор, конденсатор, спирт, пара, спиртовмісні фракції.

С – питома теплоємність, кДж/(кг•К);

F – поверхня теплопередачі конденсатора;

G – кількість пари, кг/год.;

N – потужність, дал/доба;

n – кількість робочих днів на рік;

P – витрати пари; кг/дал б.с.;

Q – теплове навантаження;

r – теплота конденсації пари, кДж/кг;

t – температура, °С;

б.с. – безводний спирт;

В – вартість природного газу для промислових підприємств, грн./м³;

БРУ – брагоректифікаційна установка;

КВСП – кубова водно-спиртова рідина;

П – прибуток, грн./рік;

РзК – розгінна колона;

СЕАК – сивушно-ефіроальдегідний концентрат;

Індекси:

k – конденсація;

o – охолодження;

v – відомий спосіб;

i – інноваційний спосіб.

В умовах зростаючих цін на енергоносії актуальною задачею для спиртової галузі є розроблення і впровадження енергоефективних технологій ректифікованого етилового спирту, які дозволяють зменшити витрати води і пари та збільшити вихід готового продукту із одиниці сировини. Для її вирішення впроваджують модернізовані брагоректифікаційні установки (БРУ), які

працюють під розрідженням або передбачають обігрів одних колон вторинною парою високого потенціалу інших колон, що працюють під тиском, оснащують установки розгінною та сивушною колонами, збільшують кількість контактних пристроїв, використовують тепло барди і лютерної води, закритий обігрів колон, впроваджують установки циклічної дії тощо [1, 2]. Перспектив-

ним напрямом у створенні енергоефективних технологій є оптимізація роботи теплообмінного обладнання, що входить до складу БРУ, а також використання теплоти вторинної пари [3, 4].

На більшості спиртових заводах України використовують БРУ непрямої дії. Під час роботи таких установок водно-спиртові пари із верхньої частини бражної, епіюраційної і спиртової колон надходять в міжтрубний простір їх дефлегматорів, в яких конденсуються переважно висококиплячі леткі компоненти – вода, складні естери та вищі спирти сивушного масла, температура кипіння яких становить 102-138 °С і вище. Пари, що містять низькокиплячі леткі компоненти – метиловий спирт (температура кипіння 64,3 °С), ефіри та альдегіди, температура кипіння яких є нижчою за температуру кипіння етилового спирту (78,3 °С) і не сконденсувалися в дефлегматорах, надходять для подальшої конденсації в конденсатори [1].

Для конденсації пари в труби конденсаторів і дефлегматорів послідовно подають холодну воду в протитоці з вторинною парою. У разі включення в технологічну схему спиртовловлювачів вода на охолодження послідовно проходить спочатку через труби спиртовловлювачів, а далі конденсаторів і дефлегматорів. В зимній період температура охолодної води становить 10-15 °С, а в літній період 20-25 °С. Температура води на виході після дефлегматорів становить 65-70 °С. Після конденсації низькокиплячих летких домішок в конденсаторах температура води підвищується в середньому на 2-3 °С, тому на охолодження дефлегматорів в їх труби надходить більш тепла вода.

Найчастіше продуктивність БРУ знижується влітку. Це пояснюється недостатніми об'ємами води на охолодження навіть при повністю відкритій запірній арматурі або недостатньою площею поверхні теплопередачі дефлегматорів. У першому випадку потрібно збільшувати переріз трубопроводів підводу води, у другому – передбачати збільшену проти розрахункової площі поверхні теплопередачі дефлегматорів. У разі нестачі води на охолодження теплообмінного обладнання влітку воду попередньо охолоджують в пароежекторних, абсорбційних або компресійних холодильних машинах. В зимній період воду охолоджують в повітряних конденсаторах. Всі вищенаведені способи потребують додаткових енерговитрат.

Питанням оптимізації роботи теплообмінного обладнання присвячена значна кількість наукових праць. Одними із факторів оптимізації є відповідність поверхні теплопередачі дефлегматорів і конденсаторів їх тепловому навантаженню, а також способи їх приєднання

до водяної комунікації. В розрахунках поверхні теплопередачі дефлегматора теплове навантаження визначається за кількістю тепла, яке виділилось під час конденсації спиртової пари, що утворює флегму. Практично ця величина становить 98-99,5 %. На частку конденсатора залишається не більше 2-2,5 % пари. Пара, що виходить із верхніх частин колон, конденсується в дефлегматорах за температури 60-65 °С. В конденсаторах пара конденсується за більш низької температури (20-30 °С). В якості конденсаторів використовують вертикальні кожухотрубні теплообмінники. Відомі випадки використання і горизонтальних багатоходових (по пару і воді) конденсаторів, які встановлюють безпосередньо над дефлегматорами. До недавніх часів широко застосовувались мідні одноходові конденсатори. Сучасні БРУ оснащені конденсаторами, виготовленими із нержавіючої сталі марки 08X12H10, 10X12H10T (AISI 304, AISI 316), в середині яких в трубних решітках ввальцьовані або приварені труби діаметром 25-38 мм довжиною 1,5-3 м. Діаметр кожуха конденсатора дорівнює 300-800 мм [5].

В підігрівачах бражки установки непрямої дії конденсується 80-90 % пари, що виходить із бражної колони. Теплове навантаження на конденсатори епіюраційної, спиртової, розгінної колон і колони кінцевого очищення незначне: в них конденсується 0,5-2 % пари. В конденсаторі сивушної колони конденсується близько 1/5-1/6 частина пари, що виходить із колони. Для цих колон теплове навантаження на конденсатор (Q) складається із теплоти конденсації (Q_k) і теплоти охолодження конденсату (Q_o):

$$Q = Q_k + Q_o = G \cdot r + G \cdot c \cdot (t_k - t_o), \quad (1)$$

де G – кількість пари, яка надходить в конденсатор, кг/год.; r – теплота конденсації пари, кДж/кг; c – питома теплоємність конденсату, кДж/(кг·К); t_k і t_o – відповідно температура конденсації і температура охолодження конденсату, °С (або К).

Для розрахунку поверхні теплопередачі конденсатора визначають окремо поверхню конденсації (F_k) і поверхню охолодження (F_o):

$$(F_k) = \frac{Q_k}{\Delta t_k \cdot k_k}, \quad (2)$$

$$(F_o) = \frac{Q_o}{\Delta t_o \cdot k_o}. \quad (3)$$

Коефіцієнт теплопередачі в значній мірі залежить від швидкості руху води в трубах конденсатора, яка змінюється в широких межах – від 0,01 до 0,5 м/с.

У разі перевантаження колони по паровому потоку для запобігання втрат спирту з неконденсованими газами розрахункову площу поверхні конденсатора необхідно збільшити щонайменше на 20 %. У цьому випадку конденсатори слугують резервною поверхнею теплопередачі.

Існують різні способи приєднання дефлегматорів і конденсаторів БРУ до продуктової і водяної комунікацій [6]. В більшості випадків на заводах використовують схему послідовного приєднання, згідно якої спирто-водяна пара і вода на охолодження надходять в нижній барабан дефлегматора, а відводяться з верхнього (рис. 1а).

Недоліком такої схеми є зменшення інтенсивності процесу теплообміну в напрямку руху води від барабана до барабана. Щоб зберегти постійну швидкість пари і уникнути зниження коефіцієнта теплопередачі, необхідно зменшувати розміри барабанів в напрямку руху пари.

Істотні переваги має паралельне приєднання барабанів дефлегматора до водяної комунікації (рис. 1б). За цієї схеми корисна різниця температур між спирто-водяною парою і водою в барабанах дефлегматора приблизно однакова і достатньо велика, тому процес конденсації пари протікає інтенсивно в кожному барабані. Найбільш раціональною схемою приєднання дефлегматорів є протитоківна схема з введенням спирто-водяної пари у верхній барабан, а води – в нижній.

Для оптимізації роботи теплообмінного обладнання вагоме значення мають схеми з'єднання дефлегматорів і вертикальних конденсаторів БРУ. На спиртових заводах зустрічається схема, за якої спирто-водяна пара із дефлегматора надходить у верхню частину міжтрубного простору конденсатора, а неконденсовані гази відводяться у спиртовловлювач з нижньої частини конденсатора (рис. 1).

Більш ефективним є спосіб, згідно якого спирто-водяна пара із дефлегматора надходить в середню частину конденсатора, а неконденсовані гази відводяться з верхньої його частини (рис. 2). Через те, що густина спирто-водяної пари, що надходить в конденсатор, за підвищеного вмісту спирту є більшою від густини повітря, то повітря збирається переважно у верхній частині конденсатора, звідки його відводять. Ту ж частину повітря, яка потрапляє у нижню частину конденсатора, відводять через штуцер для виходу неконденсованих газів.

Для підвищення експлуатаційних характеристик БРУ авторами розроблена інноваційна технологія ректифікованого етилового спирту, яка передбачає живлення розгінної колони спиртовмісними фракціями у пароподібному стані: парою, яка надходить із сепаратора вуглекислого газу, а також парою, що не конденсувалася в дефлегматорах бражної, епіюраційної та спиртової колон.

Метою роботи було дослідження ефективності інноваційної технології ректифікованого етилового спирту у виробничих умовах: визначення витрати води на охолодження дефлегматорів бражної, епіюраційної, спиртової та розгінної колон, витрати пари на обігрів колон БРУ; розрахунок очікуваної економічної ефективності.

Матеріали і методи. Методи досліджень – аналітичні, розрахункові, фізико-хімічні та хроматографічні з використанням приладів та методики досліджень, що застосовуються у виробництві спирту етилового ректифікованого [7]. Витрати води контролювали за допомогою витратомірів постійного перепаду тиску РМ, вторинної пари – за допомогою витратомірів TVA [8].

Виклад основних результатів досліджень. Відомі способи отримання ректифікованого спир-

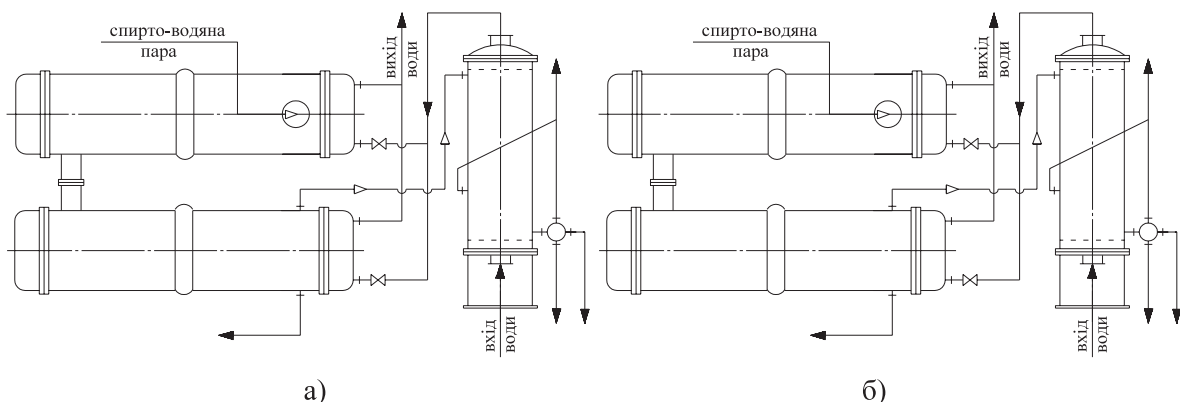


Рис. 1. Схема послідовної (а) і паралельної (б) подачі води із конденсатора в барабани дефлегматора

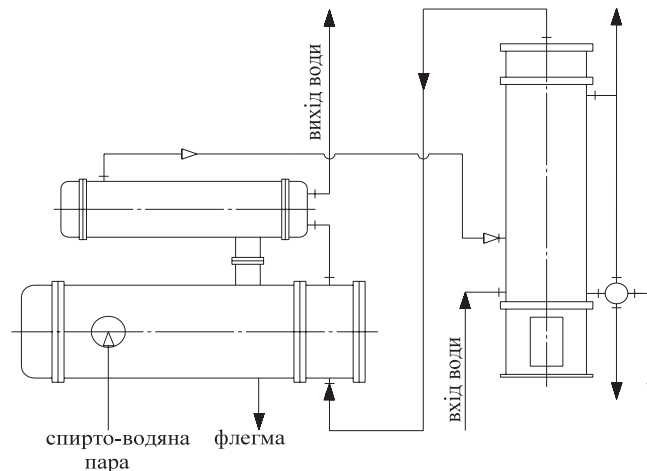


Рис. 2. Схема приєднання продуктивних і водяних комунікацій до барабанів дефлегматора і конденсатора

ту в БРУ непрямої дії, оснащеної розгінною колоною (РзК), передбачають введення на її тарілку живлення спиртовмісних напівпродуктів і побічних продуктів у вигляді конденсату пари з температурою 25-30 °С із спиртовловлювачів, конденсатора сепаратора вуглекислого газу, конденсаторів бражної, епіораційної і спиртової колон, а також конденсату парів сивушної фракції і сивушного спирту [9]. Для ефективного виділення і концентрування летких домішок спирту в РзК необхідною умовою є додаткові витрати тепла на їх нагрівання до температури 75-80 °С, що відповідає температурі на тарілці живлення, а також збільшення витрати гріючої пари на 28,7 % (від 2,56 до 3,59 кг/кг безводного спирту (б.с.), введеного в колону) [3].

Для оптимізації роботи БРУ запропоновано подавати на тарілку живлення РзК спиртовмісні фракції у пароподібному стані – пари із сепаратора вуглекислого газу, що не сконденсувалася в дефлегматорах бражної, епіораційної (головну фракцію) і спиртової колон (непастеризований спирт), а також пари сивушної фракції і сивушного спирту. Технічне рішення виключає необхідність додаткової витрати гріючої пари на попереднє нагрівання і догрівання цих фракцій до температури кипіння для їх випаровування в РзК. Для подачі фракцій живлення у вигляді пари різниця тисків в місцях їх відбору і вводу в колону повинна становити 0,1-5 м вод. ст. [10].

Дослідження ефективності запропонованого способу проводились у виробничих умовах ДП “Чуднівський спиртовий завод”. Апаратурно-технологічна схема ресурсо- та енергозберігаючої БРУ з використанням інноваційного способу представлена на рис. 3.

Установка працювала наступним чином. Дозріла спиртова бражка (Б) спочатку надходила в бражний

підігрівач 3, в якому підігрівалася водно-спиртовою парою із бражної колони (БК) 2 до температури 70-85 °С, далі в сепаратор 1 для звільнення від вуглекислого газу та інших несконденсованих газів, після чого поступала на тарілку живлення БК 2. В сепараторі 1 разом з несконденсованими газами виносяться деяка кількість спирту. Для його вилучення пару із верхньої частини сепаратора 1 спрямовували в концентраційну частину РзК 11 через витратомір F1T4 і аналогову заслінку VGA4. В нижні частини БК 2, ЕК 5, СК 7 і РзК 11 безперервно подавали гріючу пару (П). Із кубової частини БК 2 виводили звільнену від спирту і летких домішок барду (БрД). В труби дефлегматорів 4, 6, 8, 9, 13, конденсатора 17 і спиртовловлювача 18 подавали воду на охолодження. Конденсат водно-спиртової пари із підігрівача 3 і водяної секції дефлегматора 4 подавали у верхню частину ЕК 5. Звільнений від головних (етерів та альдегідів), частини верхніх проміжних (вищих спиртів сивушного масла) і кінцевих (метилового спирту) домішок спирту бражний дистилят — епіорат (Е) подавали на живлення СК 7. Несконденсовані в дефлегматорі 6 низькокиплячі пари головної фракції (ГФ) спрямовували через витратомір F1T3 і аналогову заслінку VGA3 в концентраційну частину РзК 11. В СК 7 відбувалася очистка етилового спирту від проміжних і кінцевих домішок та його концентрування. Ректифікований (пастеризований) спирт (РС) відбирали з 5-, 7- та 10-ї тарілок, рахуючи зверху СК 7. Проміжні домішки виводили із цієї колони у вигляді двох продуктів: сивушної фракції (СФ), яку відбирали із парового простору 5-, 7-, 9- та 11-ї тарілок, рахуючи знизу колони, і сивушного спирту (СС), який відбирали із парового простору 17-, 20- та 25-ї тарілок, рахуючи знизу. Для вилучення етилового спирту пари СФ і СС спрямовували в концентраційну частину РзК

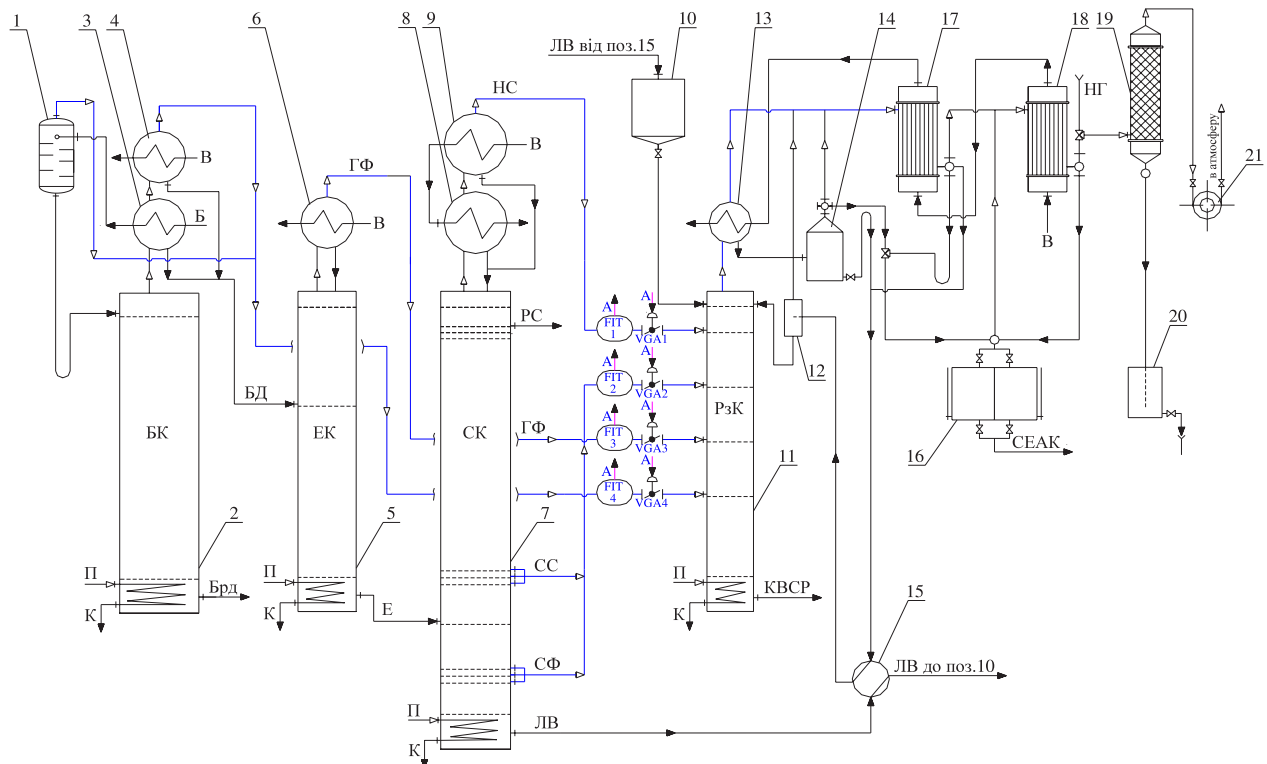


Рис. 3. Енергоєфективна БРУ з потоками живлення розгінної колони у пароподібному стані:

- 1 – сепаратор вуглекислого газу; 2 – бражна колона; 3 – підігрівач бражки; 4, 6, 8, 9, 13 – дефлегматори; 5 – спиртова колона; 7 – спиртова колона; 10 – напірний збірник лютерної води; 11 – розгінна колона; 12 – сепаратор флегми; 14 – декантатор; 15 – теплообмінник; 16 – збірник СЕАК; 17 – конденсатор розгінної колони; 18 – спиртовловлювач; 19 – барометричний конденсатор; 20 – барометричний ящик; 21 – вакуум-насос.

Умовні позначення: БК – бражна колона; Б – бражка; БД – бражний дистилят; БрД – барда; В – вода на охолодження; ГФ – головна фракція спирту етилового; ЕК – етюраційна колона; ЛВ – лютерна вода; СЕАК – сивушно-естеро-альдегідний концентрат; СС – сивушний спирт; СФ – сивушна фракція; РзК – розгінна колона; РС – ректифікований спирт; КВСР – кубова водно-спиртова рідина; К – конденсат; П – пара

11 через витратомір FIT2 і аналогову заслінку VGA2. Низькокиплячі водно-спиртові пари, що містили головні та кінцеві домішки, які не сконденсувалися в дефлегматорах 8 і 9, через витратомір FIT1 і аналогову заслінку VGA1 спрямовували у верхню зону концентраційної частини РзК 11. Вищевказані витратоміри і заслінки були встановлені на відповідних парових трубопроводах. Керування роботою заслінок відбувалося за допомогою аналогового сигналу (А), який надходив від контролера. Для подачі несконденсованих парів із сепаратора 1, дефлегматорів 4, 6, 9 і парів СФ та СС в РзК 11 різниця тисків в місцях їх відбору і введення в колону становила 0,5-1 м вод. ст. Для забезпечення такого режиму РзК 11 працювала під розрідженням, яке підтримувалося за

допомогою вакуум-насосу 21 і барометричного конденсатора 19 з барометричним ящиком 20.

Для проведення гідроселекції на верхню тарілку РзК 11 із напірного збірника 10 безперервно надходила лютерна вода (ЛВ) з температурою 90-95 °С в такій кількості, щоб концентрація спирту в кубовій рідині становила 4-8 % об. В РзК 11 спиртовмісні пари побічних продуктів і напівпродуктів брагоректифікації розділялися на два потоки: верхній, збагачений головними (складні етери, альдегіди) і проміжними (вищі спирти СФ і СС, у тому числі С3, С4, С5), домішками спирту, та нижній – кубову водно-спиртову суміш, звільнену від них. Пара, яка виходила із верхньої частини колони, конденсувалася в дефлегматорі 13, з яко-

Висновки.

1. Використання інноваційної технології ректифікації етилового спирту дозволить оптимізувати роботу теплообмінного обладнання і розгінної колони шляхом подачі на її тарілку живлення спиртовмісних фракцій у вигляді пари.

2. Організація парових потоків живлення розгінної колони призводить до зменшення загальних витрат води на охолодження на 0,013 м³/дал б.с. (2,1 %) і пари на 0,9 кг/дал б.с. (1,4 %). За обраного способу прибутку для заводу потужністю 3000 дал спирту на добу становитиме близько 1,5 млн. грн. на рік.

3. У разі збільшення об'ємів спиртовмісної пари шляхом збільшення кількості несконденсованої пари в дефлегматорах основних колон від 2 до 5 % витрати води зменшуються на 0,032 м³/дал б.с. (5,1 %), а пари на 0,9 кг/дал б.с. (1,9 %). За такого режиму роботи установки прибутку для заводу потужністю 3000 дал спирту на добу збільшується на 33,3 % порівняно із способом І.

4. Під час використання відомого та дослідження інноваційних способів ректифікації спирт етиловий ректифікований за своїми якісними показниками відповідав вимогам ДСТУ 4221:2003 для спирту сорту "Люкс".

5. Відсутність в технологічній схемі конденсаторів основних колон і спиртовловлювачів дозволяє зменшити металоємність БРУ на 10 %.

Враховуючи отримані позитивні результати, доцільним є дослідження ефективності роботи РзК та інших колон БРУ за умови збільшення об'ємів спиртовмісних парів, які надходять на їхні тарілки живлення, до 10-25 % і більше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Українець А.І., Шиян П.Л., Сосницький В.В. (2006). Перспективні напрямки енергозбереження в спиртовому виробництві. Харчова і переробна промисловість. № 4. С. 4-12.
2. Міщенко О.С. (2020). Енергоефективна технологія переробки фракції головної етилового спирту з отриманням спирту етилового ректифікованого. Харчова промисловість. № 28. С. 115-122.
3. Шиян П.Л. (2009). Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. – К.: Видавничий дім "Асканія", 424 с.
4. Bulii, Y., Kuts, A., Yuryk, I., Forsiuk, A. (2021). Improving the efficiency of mass-exchange between liquid and steam in rectification columns of cyclic action, Ukrainian Food Journal, 10 (2), pp. 346-360.
5. Цыганков П.С. (2001). Руководство по ректификации спирта / П.С. Цыганков, С.П. Цыганков // М.: ПИЩЕПРОМИЗДАТ. 400 с.
6. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малевича. – К.: НУХТ, 2012. 543 с.
7. 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.
8. Бондаренко С.Г., Складанний Д.М., Абрамова А.О. (2020) Технологічні вимірювання і прилади. Вимірювання рівня та витрат. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 117 с.
9. Маринченко В.О., Домарецький В.А., Шиян П.Л. та ін. (2003) Технологія спирту // під ред. проф. В.О. Маринченко. Вінниця: "Поділля – 2000". 496 с.
10. Патент UA на винахід № 126533 B01D 3/14 (2006.01), С12 F3/10 (2006.01), С12 P7/00. Спосіб отримання ректифікованого спирту / Булій Ю.В., Дмитрук А.П., Дмитрук П.А. Заявка а 202005971. Дата подання – 18.09.2020. Дата, з якої є чинними права – 27.10.2022. Опубл. 26.10.2022. Бюл. № 43/2022.
11. Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови: ДСТУ 4221:2003. [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. 12 с.

ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY OF RECTIFIED ETHYL ALCOHOL

Bulii Y.V.¹, Obodovych O.M.², Stepanova O.E.³

¹PhD (Engin.), Assistant, National University of Food Technologies, Volodymyrska str., 68, Kyiv, 01601, Ukraine, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-1905-3706, e-mail: yvbuliy@gmail.com

²Dr. Sci. (Engin.), Professor, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0001-7213-3118, e-mail: tdsittf@ukr.net

³PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-7179-7251, e-mail: super-olesya2807@ukr.net

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2024.6>

In the conditions of rising energy prices, the urgent task for the alcohol industry is the development and implementation of energy-efficient technologies of rectified ethyl alcohol, which allow reducing water and steam consumption and increasing the output of the finished product from a unit of raw materials. To solve it, modernized distillation units (BRU) are being implemented, which work under rarefaction or provide for the heating of some columns by the secondary steam of high potential of other columns operating under pressure, equipping the units with booster and sieving columns, increasing the number of contact devices, using the heat of bard and Luther water, closed column heating, introducing cyclical installations, etc. A promising direction in the creation of energy-efficient technologies is the optimization of the operation of the heat exchange equipment included in the BRU, as well as the use of the heat of secondary steam.

One of the factors for optimizing heat exchange equipment is the correspondence of the heat transfer surface of dephlegmators and condensers to their heat load, as well as the methods of their connection to water communication. Also, to optimize the operation of heat exchange equipment, the connection schemes of dephlegmators and vertical condensers of BRU are of great importance.

The efficiency of the innovative technology of rectified alcohol has been determined under production conditions, which provides for the supply of alcohol-containing fractions in the form of non-condensed in the deflegmators of the main columns of vapour to the feed plate of the impurity concentration column. This solution allows to reduce the total water consumption by 0,032 m³/dal (5,1 %) and the heating vapour by 1,2 kg/dal (1,9 %) in terms of anhydrous alcohol in comparison with the known method. The expected profit for the plant with a capacity of 3000 dal of alcohol per day will be about UAH 1,5 million per year. Increasing the amount of non-condensed vapour from 2 to 5 % to feed the column will reduce the heating vapour consumption from 10 to 8,8 kg/dal, and increase the profit by 33,3 %. During the tests the qualitative indicators of rectified alcohol corresponded to the normative ones for "Lux" grade.

References 11, tables 1, figures 3.

Keywords: distillation unit, impurity concentration column, dephlegmator, condenser, alcohol, vapour, alcohol-containing fractions..

1. *Ukrayinets, A.I., Shyyan, P.L., Sosnytskyi, V.V.* (2006). Perspektivni napryamky enerhozberezhennya v spyrtovomu vyrobnytstvi [Promising directions of energy saving in alcohol production]. *Kharchova i pererobna promyslovis't'*, 4, 4-12. (in Ukr.)

2. *Mishchenko, O.S.* (2020). Enerhoefektyvna tekhnolohiya pererobky fraktsiyi holovnoyi etylovoho spyrty z otrymannyam spyrty etylovoho rektyfikovanoho [Energy-efficient technology for processing the fraction of the main ethyl alcohol to obtain rectified ethyl alcohol]. [*Kharchova promyslovis't'*], 28, 115-122. (in Ukr.)

3. *Shyyan, P.L.* (2009). Innovatsiyini tekhnolohiyi spyrtovoyi promyslovis'ti [Innovative technologies of the alcohol industry]. *Teoriya i praktyka: monohrafiya / P.L. Shyyan, V.V. Sosnytskyi, S.T. Oliynichuk.* – K.: [Vydavnychyy dim "Askaniya"], 424 p. (in Ukr.)

4. *Bulii, Y., Kuts, A., Yuryk, I., Forsiuk, A.* (2021). Improving the efficiency of mass-exchange between liquid and steam in rectification columns of cyclic action, [*Ukrainian Food Journal*], 10 (2), pp. 346-360.

5. *Tsygankov, P.S., Tsygankov, S.P.* (2001). *Rukovodstvo po rektifikatsii spirta* [Guide to the rectification of alcohol]. M.: [PISHCHEPROMIZDAT], 400 p. (In Rus.)

6. *Protsesi i aparaty kharchovykh vyrobnytstv* [Processes and devices of food production]. *Kursove proektuvannya: Navch. posib. / Za red. prof. I.F. Malezhyka.* – K.: [NUKHT], 2012, 543 p. (in Ukr.)

7. *Horilky, spyrty etylovyy ta vodno-spyrtovi rozchyny. Hazokhromatohrafichnyy metod vyznachennya vmistu mikrokomponentiv [Vodka, ethyl alcohol and water-alcohol solutions. Gas chromatographic method of determining the content of microcomponents], [DSTU 4222:2003]. Chynnyy vid 2004-01-01. – K.: [Derzhspozhyvstandart Ukrayiny], 2003, 18 p. (in Ukr.)*

8. *Bondarenko, S.H., Skladanny, D.M., Abramova, A.O. (2020). Tekhnolohichni vymiryuvannya i prylady. Vymiryuvannya rivnya ta vytrat [Technological measurements and devices. Level and cost measurement]. Kyiv: [KPI im. Ihorya Sikors'koho]. 117 p. (in Ukr.)*

9. *Marynchenko, V.O., Domaretsky, V.A., Shyyan, P.L. ta in. (2003). Tekhnolohiya spyrty [Alcohol technology] // pid red. prof. V.O. Marynchenko. [Vinnytsya: "Podillya], 2000, 496 p. (in Ukr.)*

10. *Buliy, YU.V., Dmytruk, A.P., Dmytruk, P.A. (2022). Sposib otrymannya rektyfikovanoho spyrty [The method of obtaining rectified alcohol]. Patent of Ukraine for the invention № 126533 B01D 3/14 (2006.01), C12 F3/10 (2006.01), C12 P7/00; declared 18.09.2020; published 26.10.2022, № 43.*

11. *Spyrt etylovyy rektyfikovanyy. Tekhnichni umovy [Rectified ethyl alcohol. Specifications]: DSTU 4221:2003. Chynnyy vid 2008-01-01. – K.: [Derzhspozhyvstandart Ukrayiny], 2007, 12 p. (in Ukr.)*

Отримано 14.10.2023

Received 14.10.2023

*Прийнято до друку 15.02.2024
Accepted for publication 15.02.2024*