

УДК 547.53

*Л.М. УЛЬЄВ, М.В. ІЛЬЧЕНКО***ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ ДЛЯ ПІНЧ-АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТА ПОДІЛУ ГІДРОДЕАЛКІЛАТУ НА УСТАНОВЦІ ВИРОБНИЦТВА БЕНЗОЛУ**

Робота присвячена дослідженню та обробці результатів обстеження установки виробництва бензолу. Визначені передумови для мінімізації використання зовнішніх енергоносіїв за рахунок максимізації рекуперації теплоти в рамках розглянутої енерготехнологічної системи. В статті наводиться короткий опис процесу стабілізації та поділу гідроеалкілату. На базі розгляду технологічної схеми виробництва наведено аналіз даних енергоспоживання та визначено перспективи для пінч-інтеграції установки. З метою впровадження теплової інтеграції з теплообмінною мережою було виділено необхідну кількість технологічних потоків, які прийматимуть участь у теплообміні. Складено таблицю потових даних та наведено основні характеристики кожного потоку. Для існуючого процесу побудовано сіткову діаграму, за якою визначено потужність рекуперації установки.

**Ключові слова:** пінч-аналіз, теплообмін, потокова таблиця, сіткова діаграма, утиліти, рекуперація тепла.

**Вступ.**

Зростання цін на енергоресурси змушує енергозалежні країни диверсифікувати поставки енергоносіїв та прискореніми темпами реалізовувати програми збільшення енергоефективності промислового виробництва. За підсумками 2010 року енергоемність ВВП в Україні склала 1,4 кг н.е. на 1 дол. США. Цей показник є сьогодні найвищим серед країн Європи. Зокрема, в Росії енергоемність ВВП складає 0,75 кг н.е. / дол. США, в країнах Європи – 0,2 кг н.е. / дол. США [1]. Особливо важливим є зменшення енергоспоживання в хімічній, нафтохімічній і металургійній промисловості, де ціна на паливо становить основну частину собівартості продукції. Українським нафтопереробним заводам необхідна модернізація. Зниження питомого енергоспоживання можна досягти шляхом модернізації окремих систем виробництва, установок і заводів в цілому, а також удосконаленням окремих виробничих операцій. Застосування методів теплоенергетичної інтеграції дозволяє домогтися істотної фінансової економії за рахунок мінімізації використання зовнішніх енергоносіїв, шляхом максимізації рекуперації теплоти в рамках розглянутої енерготехнологічної системи [2].

У представленій роботі проведено обстеження стабілізації та поділу гідроеалкілату на установці виробництва бензолу.

**Опис технологічної схеми установки.** Стабілізація гідроеалкілату протікає наступним чином.

Гідроеалкілат підігрівается у теплообміннику Т-314 та подається у колонну стабілізації К-305. Пари легких вуглеводнів з верха колони частково конденсуються у повітряному конденсаторі Т-335 та потрапляють до флегмової ємності Е-309. Газова фракція з ємності Е-309 додатково конденсується в пропиленовому конденсаторі Т-330, а залишкові гази виходять до паливної системи. Теплообмін у колоні стабілізації К-305 відбувається шляхом циркуляції кубової рідини через виносний кип'ятильник Т-316. Кубова рідина колони К-305 подається в колону виділення бензольної фракції від важких вуглеводнів К-306.

Пара бензольної фракції з верха колони К-306 частково конденсується у повітряному конденсаторі Т-322 та потрапляє до флегмової ємності Е-314. Із неї балансова кількість бензольної фракції подається до теплообмінника Т-325, звідки через підігрівач Т-327

надходить до реактора контактної доочистки Р-304/1,2. Теплообмін у колоні К-306 відбувається шляхом циркуляції кубової рідини на виносних кип'ятильниках Т-324/1/2.

Бензольна фракція з низу екстракторів Р-304/1,2 подається в колону виділення товарного бензолу К-307. Пари бензолу з верха колони К-307 конденсуються у повітряному конденсаторі Т-332 та потрапляють до флегмової ємності Е-315.

Пара бензолу з ємності Е-315 охолоджується та конденсується у теплообміннику Т-424. Товарний бензол після холодильника Т-328 надходить на склад.

Теплообмін у колоні виділення товарного бензолу К-307 відбувається шляхом циркуляції кубової рідини через виносний кип'ятильник Т-329.

Схема процесу стабілізації та поділу гідроеалкілату зображена на рисунку 1.

**Екстракція даних.**

Раніше в роботі [3] було розпочато обстеження частини установки переробки піроконденсату з метою вирішення проблеми з енергозбереженням.

Для подальшого аналізу даних енергоспоживання та структури теплообмінної мережі, задіяної для процесів стабілізації та поділу гідроеалкілату необхідно виділити технологічні потоки, що приймають участь у теплообміні, а також потоки, які можуть бути включені до теплової інтеграції [4].

В результаті обстеження установки були отримані наступні дані:

Пара легких вуглеводнів з К-305. Виходить з верха колони К-305, частково конденсується у повітряному конденсаторі та надходить до флегмової ємності.  $T_{\text{поч}}=126\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=118\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 9746 кг/год.

Пара бензольної фракції з К-306. Виходить з верха колони К-306, частково конденсується у повітряному конденсаторі та надходить до флегмової ємності.  $T_{\text{поч}}=86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=69\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 9048 кг/год.

Пара БТК фракції. Виходить з ємності, охолоджується.  $T_{\text{поч}}=48\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 550 кг/год.

Бензольна фракція з Р-304. Виходить з низу реактора Р-304, проходить через теплообмінники та надходить до колони К-307.  $T_{\text{поч}}=195\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=119\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 8053 кг/год.

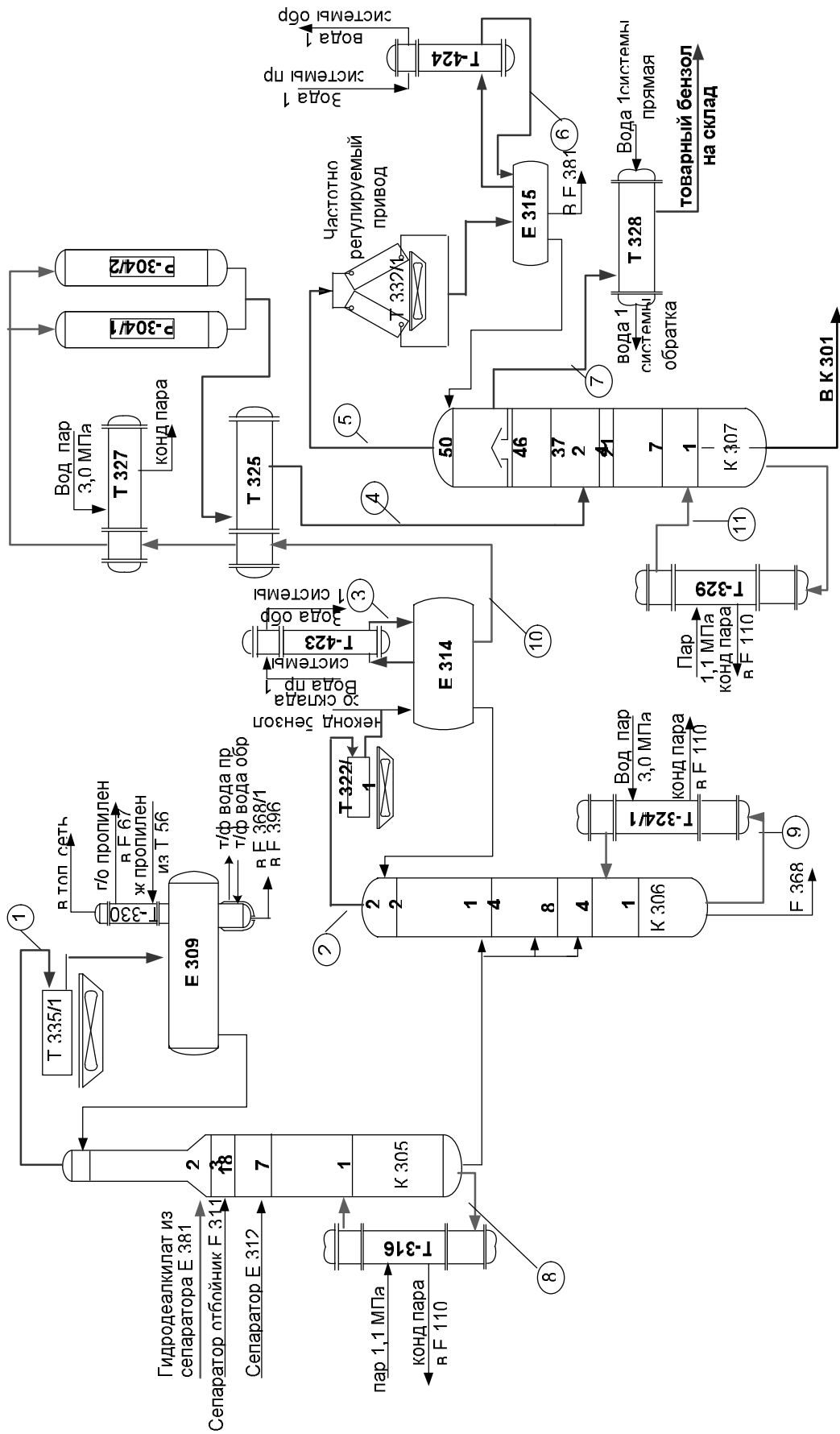


Рис. 1 – Технологічна схема процесів стабілізації та поділу гідрдеалкілата на установці виробництва бензолу

Пара бензолу з К-307. Виходить з верху колони К-307, частково конденсується у повітряному конденсаторі та надходить до флегмової ємності.  $T_{\text{поч}}=84\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=81\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 32148 кг/год.

Пара бензолу з Е-315. Виходить з ємності та охолоджується.  $T_{\text{поч}}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 650 кг/год.

Товарний бензол з К-307. Виходить з колони К-307, охолоджується в холодильнику та надходить на склад.  $T_{\text{поч}}=86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=69\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 8056 кг/год.

Кубова рідина К-305. Виходить з низу колони, нагрівається в кип'ятильнику та повертається до колони.  $T_{\text{поч}}=148\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 2,85 кг/год.

Кубова рідина К-306. Виходить з низу колони, нагрівається в кип'ятильнику та повертається до ко-

лони.  $T_{\text{поч}}=192\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=211\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 93781 кг/год.

Потік з Е-314. Виходить з ємності, нагрівається та надходить до реактору.  $T_{\text{поч}}=65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=204\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 8053 кг/год.

Кубова рідина К-307. Виходить з низу колони, спочатку нагрівається в кип'ятильнику та надходить назад до колони.  $T_{\text{поч}}=114\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кін}}=129\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витрата – 287 кг/год.

Використовуючи результати вивчення технологічної схеми, регламенту, матеріального балансу установки, складається таблиця 1 поточкових даних, які необхідні для визначення теплової потужності, котру споживають процеси стабілізації та поділу гідродекантату на даний момент [3].

Таблиця 1. Система потоків для аналізу енергоспоживання процесів стабілізації та поділу гідродекантату

№	Назва потоку	Тип	$T_s$ , °C	$T_t$ , °C	G, кг/ч	C, кДж/(кг·°C)	CP, кВт/°C	ΔH, кВт
1	Пара легких углеводнів з К-305	гар	126	45	9 746	2,079	5,627	454,10
2	Пара бензольної фракції з К-306	гар	86	69	9 048	1,835	4,612	78,40
3	Пара БТК фракції	гар	48	26	550	1,637	0,250	5,50
4	Бензольна фракція з Р-304	гар	195	119	8 053	2,076	4,644	352,94
5	Пара бензолу з К-307	гар	84	81	32 184	1,868	16,700	50,10
6	Пара бензолу з Е-315	гар	78	18	650	1,686	0,304	18,20
7	Товарний бензол з К-307	гар	85	38	8 056	1,750	3,915	183,22
8	Кубова рідина К-305	хол	148	162	84 253	2,851	66,724	967,49
9	Кубова рідина з К-306	хол	192	211	93 781	2,802	72,993	1364,97
10	з Е-314	хол	69	204	8053	1,811	4,051	546,90
11	Кубова рідина К-307	хол	114	129	176 287	2,005	98,182	1512,00

**Аналіз існуючої системи теплообміну установки виробництва бензолу.**

Використовуючи отримані дані технологічних потоків, будемо сітковою діаграмою існуючого процесу (рис. 2).

Для подальшого аналізу необхідно визначити величину потужності рекуперації у процесі, що існує [5-6].

За вимірними температурами технологічних потоків і їх поточковими теплоємності визначаємо потужність кожного з рекуперативних теплообмінників установки виробництва бензолу.

Гарячі утиліти в процесі, який ми розглядаємо, становлять величину 4 319 кВт, а холодні утиліти – 826 кВт [7, 8].

Після визначення та підсумовування теплових навантажень усіх теплообмінних апаратів отримано потужність рекуперації, що дорівнює 357 кВт.

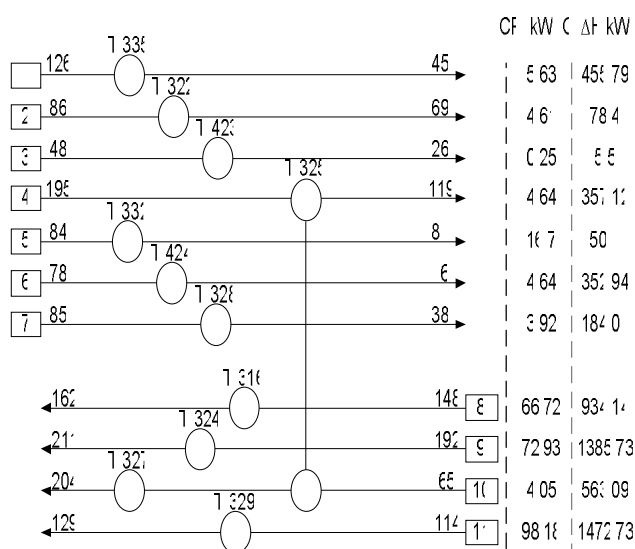


Рис. 2 – Сіткова діаграма існуючого процесу:

### Висновки даного дослідження і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

У результаті проведеного обстеження процесів стабілізації та поділу гідроксидів на установці виробництва бензолу за правилами пінч-аналізу були отримані потокові дані, систематизовані і занесені в потокову таблицю.

На основі зібраних даних була побудована сіткова діаграма, визначено величину холодних і гарячих утиліт, які споживаються процесом, і величину рекуператії тепла.

Виходячи з вищевикладеного, є можливість застосувати ці дані для аналізу енергозберігаючого потенціалу і реконструкції установки.

**Список літератури:** 1. Ukraine policy review. [електронний ресурс] // International Energy Agency. Режим доступу: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Ukraine2012\\_free.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Ukraine2012_free.pdf) accessed 08.05.2015. 2. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с. 3. Ульев Л.М., Яценко О.А., Ильченко М.В. Экстракция данных для пинч-анализа процессов выделения бензол-толуол-ксилольной фракции и гидродеалкилата в производстве бензола // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. Одеса. – 2014, – 45(3). 4. Kemp I.C. Pinch analysis and process integration. Second Edition: A User Guide on Process Integration for Efficient Use of Energy / I.C. Kemp. – The Netherlands, Amsterdam: Elsevier, 2007. 5. Nordman R. New process integration methods for heat-saving retrofit projects in industrial systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy / R. Nordman – Goteborg: Printed by Chalmers Reproservice, Sweeden. 2005. – p. 77. 6. Linnhoff B. User guide on process integration for the efficient use of energy / B. Linnhoff, Townsend D.W., et al. – Rugby, UK. 1994. – p. 247. 7. Ульев Л.М., Мельниковская Л.О. Определение полезной загрузки трубчатых печей с помощью учёта тепловых потерь в системе теплообмена на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока // Интегрированные техноло-

гии та енергозбереження. 2011, – № 3. – С. 15–19. 8. Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Ульев Л.М., Мельниковская Л.А., Ходченко С.М. Энергоэффективная реконструкция установки нефтепереработки на основе пинч-анализа с учётом внешних потерь // Теорет. основы хим. технологии. 2012. – Т. 46, – № 5. – С. 491–500.

**Bibliography (transliterated):** 1. Ukraine policy review. [elektronnyiy resurs] // International Energy Agency. Rezhim dostupu:

[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Ukraine2012\\_free.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Ukraine2012_free.pdf) accessed 08.05.2015. 2. Smit R. Osnovy integratsii teplovykh protsessov / P. Smit, Y. Klemesh, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev – Harkov: HGPU, 2000. – p. 457. 3. Ulyev L.M., Yatsenko O.A., Ilchenko M.V. Ekstraktsiya dannykh dlya pinch-analiza protsessov vydeleniya benzol-toluol-ksilolnoy fraktsii i gidrodealkilata v proizvodstve benzola // Naukovi pratsi [Odeskoyi natsionalnoyi akademiyi harchovih tehnologiy]. Odesa. – 2014, – 45(3). 4. Kemp I.C. Pinch analysis and process integration. Second Edition: A User Guide on Process Integration for Efficient Use of Energy / I.C. Kemp. – The Netherlands, Amsterdam: Elsevier, 2007. 5. Nordman R. New process integration methods for heat-saving retrofit projects in industrial systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy / R. Nordman – Goteborg: Printed by Chalmers Reproservice, Sweeden. 2005. – p. 77. 6. Linnhoff B. User guide on process integration for the efficient use of energy / B. Linnhoff, Townsend D.W., et al. – Rugby, UK. 1994. – p. 247. 7. Ulyev L.M., Melnikovskaya L.O. Opredelenie poleznoy zagruzki trubchatih pechey s pomoschy ucheta teplovykh poter v sisteme teploobmena na ustanovke pervichnoy pererabotki nefiti AVT A12/2 v rezhime raboty bez vakuumnogo bloka // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. 2011, – No. 3. – p. 15–19. 8. Meshalkin V.P., Tovazhnyanskiy L.L., Ulyev L.M., Melnikovskaya L.A., Hodchenko S.M. Energoeffektivnaya rekonstruktsiya ustanovki neftepererabotki na osnove pinch-analiza s uchetom vneshnih poter // Teoret. osnovy him. tehnologii. 2012. – T. 46, – No. 5. – p. 491–500.

Надійшла (received) 22.05.2015

### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Леонід Михайлович Ульєв**, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 0675711877; ulyevlm@mail.ru,

**Марія Володимирівна Ильченко**, аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 0669613620, masha5931@mail.ru.

**Леонид Михайлович Ульев**, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 0675711877; ulyevlm@mail.ru,

**Мария Владимировна Ильченко**, аспирант, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 0669613620, masha5931@mail.ru.

**Leonid Mihaylovich Ulyev**, Doctor of Technical Sciences, professor, National technical university "Kharkiv polytechnic institute", 0675711877; ulyevlm@mail.ru,

**Mariia Vladimirovna Ilchenko**, postgraduate, National technical university "Kharkiv polytechnic institute", 0669613620, masha5931@mail.ru.