

## ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ СИСТЕМ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ УСТАНОВКИ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАФТИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПІНЧ-АНАЛІЗУ

Ульєв Л.М., д-р техн. наук, професор, Кержакова М.О, аспірант  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

У даній роботі розглядається технологічний процес стабілізації нафти на одноколонній установці. Актуальність теми обумовлена тим, що зростання цін на енергію спонукає економніше використовувати енергоресурси з тим, щоб зменшити загальні витрати. За допомогою пінч-методу можна знизити споживання енергії на 308 МВт.

In this article the process of stabilization of oil on the single-line installation. Relevance of the topic due to the fact that the rise in energy prices encourage more economical use of energy in order to reduce overall costs. With pinch method can reduce power consumption by 308 MW.

Ключеві слова: стабілізація нафти, пінч-метод, енергозбереження, складові криві.

**Постановка проблеми.** У даний час проблема енергоефективності є однією з найбільш актуальних для розвитку України. Енергоемність продукції українських виробництв в 3-4 рази перевищує енергоемність аналогічної продукції індустріально розвинених країн, що говорить про малу енергоефективності існуючих процесів.

Енергозбереження – найважливіший напрям у досягненні зниження вуглецевих викидів шляхом розробки екологічно чистих технологій відповідно до Кіотського протоколу. В області, переробної вуглеводні, основні джерела втрати енергії пов'язані з теплоенергетикою. Якщо нафтопереробної промисловості потрібно піч або котел для тепlopостачання, то будь-яке надмірне використання автоматичних призводить до утворення додаткових відходів і, отже, до дуже великих викидів у атмосферу.

Тому енергозбереження є єдиним способом не тільки економії грошей та природних ресурсів, а й захисту навколишнього середовища через скорочення викидів у атмосферу, пов'язаних з енергоспоживанням [1].

Раніше, в роботі [2], було започатковано розв'язання проблеми з енергозбереження процесу стабілізації нафти. Були виявлені недоліки існуючої теплообмінної системи, які призводять до збільшення енергоспоживання. Була вивчена енерго-функціональна схема установки стабілізації нафти. Визначено технологічні потоки і побудована сіткова діаграма існуючого процесу.

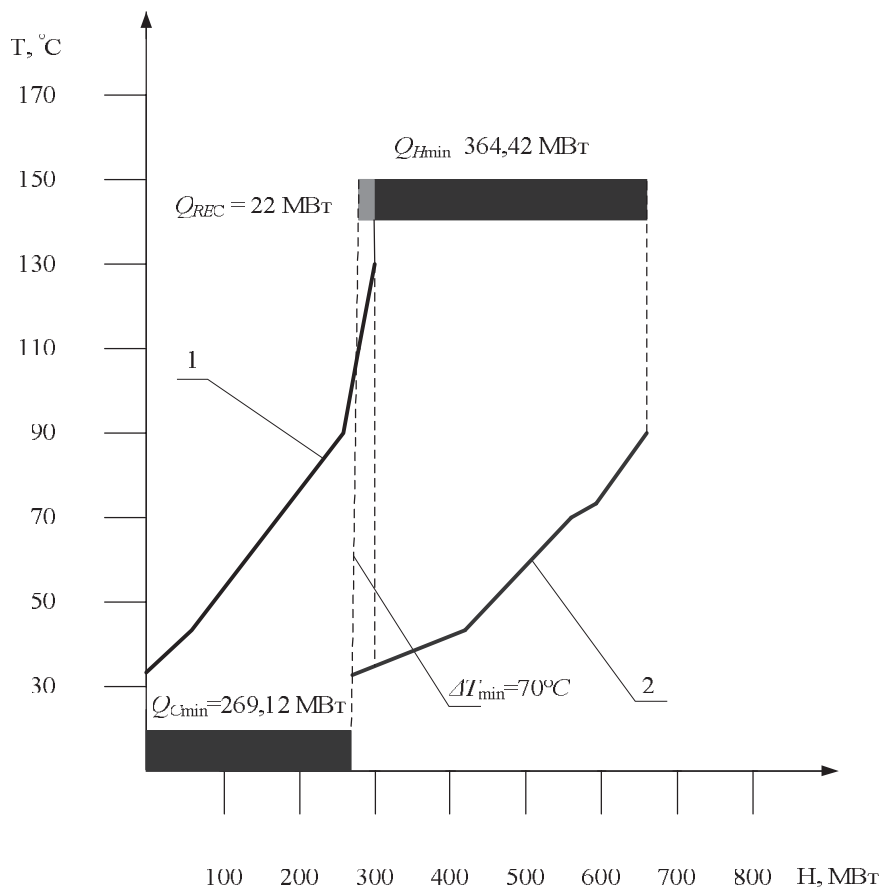
**Вибір даних для інтеграції.** Використовуючи результати вивчення технологічної схеми в роботі [2], регламенту, матеріальний баланс установки, складається таблиця 1 поточкових даних, які необхідні для визначення теплової потужності, яку споживає установка стабілізації нафти на даний момент.

Таблиця 1 – Система потоків для аналізу енергоспоживання установки стабілізації нафти

№ потоку	Назва потоку	Тип	$T_s$	$T_T$	$\Delta H$ МВт	$CP$ МВт/°C	$\alpha$ кВт/(м <sup>2</sup> ·К)	$c_p$ кДж/кг·°C	$G$ т/год
1	Стабільна нафта	Гар.	90,7	41,6	155,5	3,2	0,4	2,4	4752
2	Атм. компресор 1 ступеня	Гар.	129,6	32,2	31,9	0,9	0,2	2,6	1256
3	1 ступінь компресора ВТ	Гар.	88,3	32,2	24	0,43	0,2	2,6	592,2
4	2 ступінь компресора ВТ	Гар.	99,4	32,2	25	0,37	0,2	2,6	514,8
5	Сира нафта	Хол.	32,2	44,1	133,4	11,2	0,5	2,05	18590
6	Знесолена сировина	Хол.	43,2	71,1	176,7	6,3	0,4	2,4	9450
7	Стабілізатор сировини	Хол.	69,7	79,4	22,03	2,276	0,4	2,4	3414
8	Гар. струмінь	Хол.	73,8	91,1	58,03	3,35	0,4	2,4	

В цілому, в розпорядженні є 4 гарячих технологічних потоків і 4 холодних потоків з визначеними потоковими даними. Для подальшого аналізу необхідно визначити величину потужності рекуперації у процесі, що існує.

**Складові криві існуючого процесу.** Використавши дані з табл. 1 будуюмо на ентальпійно-температурній діаграмі гарячу і холодну складові криві обраної системи технологічних потоків (рис.1). Це типові складові криві для неінтегрованих процесу. Криві не перекриваються і вся потужність, яку необхідно відвести від гарячих потоків, передається холодним утилітам і безповоротно йде з установок. Аналогічно вся потужність, необхідна для підвищення температури холодних потоків, споживається виключно від гарячих утиліт [3-5].



*1 – гаряча складова крива; 2 – холодна складова крива;  
 $Q_{Hmin}$  – гарячі утиліти;  $Q_{Cmin}$  – холодні утиліти;  $Q_{REC}$  – потужність рекуперації*

**Рис. 1 – Складові криві для процесу, що існує**

Проекція гарячої складової кривої на ентальпійну вісь (абсцис) показує значення теплової потужності, яку можливо відвести від системи гарячих потоків і використовувати для підігріву холодних технологічних потоків. Ця величина складає значення 364,42 МВт.

Аналогічно, проекція холодної складової кривої на ентальпійну вісь показує значення потужності, яку необхідно підвести до холодних потоків для виконання процесу стабілізації нафти, вона складає 269,12 МВт.

Величину рекуперації енергії показує зона перекриття кривих. Це значення на діаграмі кривих дорівнює приблизно 22,08 МВт. Найменша відстань між кривими на вісі ординат (температурна вісь) називається областю пінчу обраної системи технологічних потоків [6].

У нашому випадку пінч локалізується на температурах:  $T_{гар} = 102,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $T_{хол} = 32,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Різниця температур в області пінчу дорівнює  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Визначення  $\Delta T_{min}$ .** Для того, щоб економічно оптимально інтегрувати процес, нам необхідно з'ясувати найбільш важливі економічні значення, які суттєво впливають на приведену вартість проекту, що виконується [7].

Вартість гарячих утиліт, використаних у процесі, візьмо рівною 462 долл. США за 1 кВт на рік, з врахуванням того, що у році 8000 робочих часів.

Вартість холодних утиліт візьмо на порядок меншою, тобто 0,1 вартості гарячих утиліт, що дасть значення 46,2 долл. США за 1 кВт на рік.

Використовуючи ціни на теплообмінне устаткування, отримані від його виробників, можемо ще до виконання проекту реконструкції оцінити необхідні капвкладення і термін їх окупності. Отже капітальну вартість одного теплообмінного апарату можна визначити виразом:

$$\text{Кап. Вартість} = A_t + B_t(S)^c \quad (1)$$

де  $A_t$  – вартість установки одного теплообмінного апарату, для пластинчатих теплообмінних апаратів  $A_t = 10000$  дол. США;

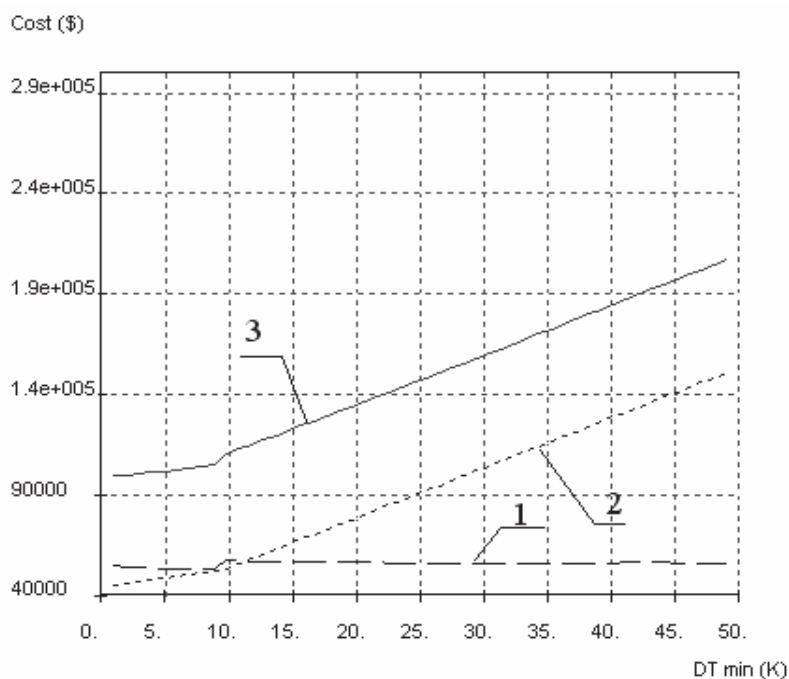
$B_t$  – коефіцієнт, еквівалентний вартості 1 м<sup>2</sup> площі поверхні теплообміну, для кожухотрубчатих теплообмінних апаратів  $B_t = 500$ , для пластинчатих  $B_t = 800$ ;

$S$  – площа поверхні теплообміну теплообмінного апарату;

$c$  – коефіцієнт, що відображає нелінійну залежність вартості теплообмінника від величини його поверхні теплообміну. Для кожухотрубчатих теплообмінників, як правило,  $c = 0.87$ .

Будемо вважати, що для виконання проекту підприємство бере в банку кредит строком на 5 років з 10 % кредитною ставкою.

Дані значення за допомогою складених кривих дозволяють побудувати діаграми для визначення величин  $\Delta T_{\min}$ , величину інвестицій в додаткову до існуючої площі поверхні та економію після реконструкції, як це показано на рис. 2 ( $\Delta T_{\min} \approx 3$  °C).



1 – інвестиції в обладнання; 2 – енергія; 3 – загальна вартість

**Рис. 2 – Залежність приведеної вартості від  $\Delta T_{\min}$**

Треба зауважити, що інтервал змінення  $\Delta T_{\min}$  було визначено при обраній вартості енергії. Сучасні тенденції ринку енергоносіїв говорять, що їх вартість у декілька близьких десятиліть буде рости. Тому розглянемо залежність  $\Delta T_{\min}$  оптимального в системі рекуперації теплової енергії процесу від вартості енергії.

Аналіз залежності  $\Delta T_{\min}$  від вартості енергії (рис. 3) проведемо при змінній вартості гарячих утиліт у межах від 100 долл. США за 1 кВт на рік до 400 долл. США за 1 кВт на рік. Змінення вартості холодних утиліт розглядається у межах 0,1 від змінення вартості гарячих утиліт, тобто від 10 і до 40 долл. США за 1 кВт на рік.

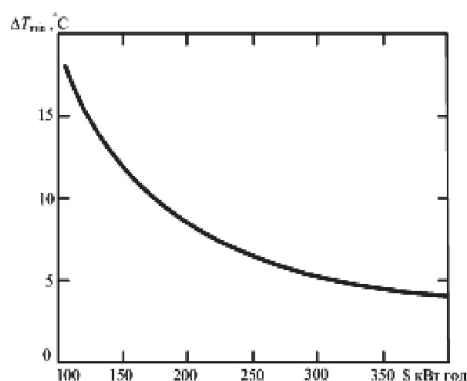
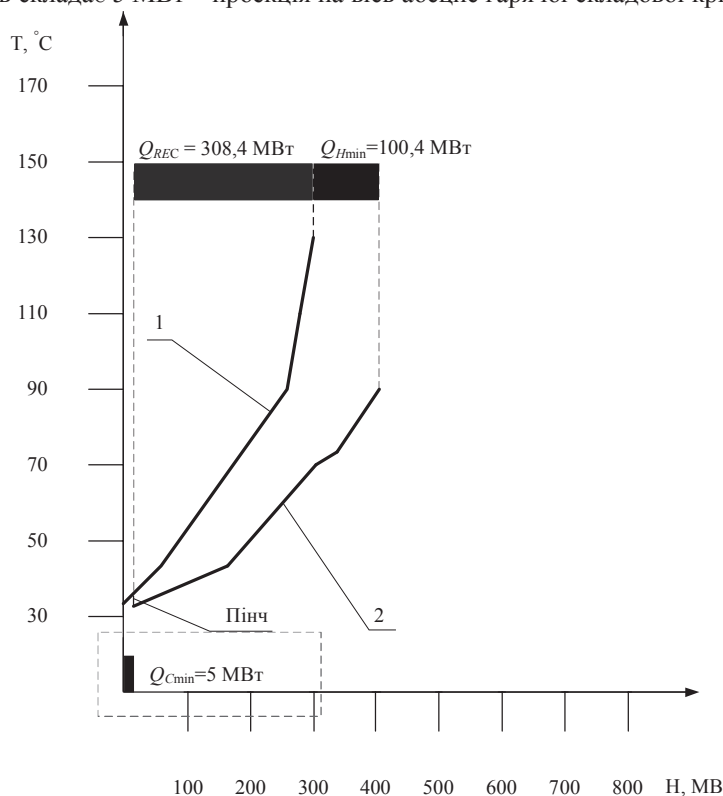


Рис. 3 – Залежність  $\Delta T_{\min, \text{opt}}$  від питомої вартості енергії

Складові криві для інтегрованого процесу при  $\Delta T_{\min} = 3^\circ\text{C}$ . Використовуючи отримані дані, можна побудувати складові криві інтегрального процесу стабілізації нафти (рис. 4).

Складові криві дають повну енергетичну характеристику процесу стабілізації нафти, що існує. Теплова потужність, необхідна для нагріву усіх холодних потоків – проекція холодної складової кривої на вісь абсцис, на якій відкладається потоковий вміст теплоти, складає 100,4 МВт, а потужність для охолодження гарячих потоків складає 5 МВт – проекція на вісь абсцис гарячої складової кривої [8].



1 – гаряча складова крива; 2 – холодна складова крива;  
 $Q_{H\min}$  – гарячі утиліти;  $Q_{C\min}$  – холодні утиліти;  $Q_{REC}$  – потужність рекуперації

Рис. 4 – Складові криві для інтегрованого процесу при  $\Delta T_{\min} = 3^\circ\text{C}$ :

**Висновок.** За допомогою апарату складових кривих визначили оптимальне значення мінімальної різниці температур рівне  $3^\circ\text{C}$ . Гарячі утиліти зменшуються до 100,4 МВт, а холодні – до 5,1 МВт. Потужність рекуперації збільшилась приблизно до 308,4 МВт. Різниця у зазначених величинах з’являється внаслідок того, що при зменшенні кількості гарячих утиліт зменшується кількість пари, що споживається для підігріву, отже, зниження кількості холодних утиліт відбувається як за рахунок збільшення потужності рекуперації, так і за рахунок зменшення довжини гарячої складової кривої на діаграмі складових кривих.

Позначення:

$T_S$  – температура початкова (постачання), °C;

$T_T$  – температура кінцева (цільова), °C;

$\Delta H$  – зміна потокової ентальпії, МВт;

$CP$  – потоковая теплоємність, МВт / К;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, кВт / м<sup>2</sup>·К;

$c_p$  – питома теплоємність, кДж / кг·К;

$G$  – витрата, т/год.

### Література

1. Нурелдин М.Б. Снижение выбросов парниковых газов и преимущества улавливания CO<sub>2</sub> / М.Б. Нурелдин, А.С. Азери, С. Аль-Хашими // Нефтегазовые технологии. – 2008 – №4 – С.106-108
2. Ульєв Л.М. Екстракція даних для теплової інтеграції процесу стабілізації нафити на нафтовому промислі / Л.М. Ульєв, М.О. Кержакова // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса. 2014. Вип.45.Том.3. С114-117
3. Ульєв Л.М. Екстракція даних для пинч-анализа производства карбамида на агрегате АК-70 с помощью пинч-анализа / Л.М. Ульєв, О.А. Яценко // Интегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал – Харків: НТУ «ХПІ».2013. – №2. С.114-120
4. Мешалкин В.П. Энергоэффективная реконструкция установки нефтепереработки на основе пинч-анализа с учетом внешних потерь / В.П. Мешалкин, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л.М. Ульєв, Л.А. Мельникова, С.М. Ходченко // Теорет. основы хим. технологии. –2012. –Т. 46, –№5. –С. 491–500.
5. Ульєв Л.М. Екстракція даних для пинч-анализа производства акриловой кислоты / Л.М. Ульєв, М.А. Васильєв, Е.А. Тюльпа // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса. 2014. Вип.45.Том.3. С119-124
6. Kemp I. Pinch Analysis and Process Integration (Second edition) – Amsterdam: Elsevier – 2007. – 396 p.
7. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2000. – 457 с.
8. Nordman R. New process integration methods for heat – saving retrofit projects in industrial systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy / R. Nordman – Göteborg: Printed by Chalmers Reproservice, Sweden. 2005. – 77 p.

УДК 663.938.011:537-962

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОФЕПРОДУКТОВ

Терзиев С.Г., канд. техн. наук  
Одесская национальная академия пищевых технологий

*Приведены результаты энергетического и экологического мониторинга в пищекоцентрадном производстве. Формулируются научные гипотезы путей решения задач. Предложены инновационные проекты совершенствования теплотехнологий пищевых концентратов. Анализируются перспективы электромагнитных принципов сушки и экстрагирования. Приведены результаты производственных испытаний системы тепломассоутилизации, микроволнового экстрактора кофе и масла кофе. Обсуждается линия переработки шлама и производства топливных пеллет.*

*The results of energy and ecological monitoring in production of food concentrates are shown. Scientific hypotheses of problems solutions are formulated. Innovative projects of improving thermotehnologies of food concentrates are proposed. The prospects of electromagnetic principles of drying and extraction are analyzed. The results of the production test of heat-mass utilization system, microwave extractor of coffee oil and coffee are shown. The line of coffee sludge processing and fuel pellets production are discussed.*

Ключевые слова: теплотехнология, кофепродукты, моделирование, переработка отходов, микроволновой экстрактор, тепломассоутилизатор.

**Введение.** Промышленное производство пищевых концентратов (ПК) началось в канун первой мировой войны. На территории нашей страны предприятия, выпускающие ПК, появились в 1936г. Специфика продукции, ее ориентация на нужды армии и флота определили требования к ПК: быстрота приготвления, продолжительные сроки хранения и высокое качество. Именно эти качества ПК привлекают интерес широкого круга потребителей, и сейчас большинство жителей планеты все чаще обращаются к