

ПІНЧ-ПРОЕКТУВАННЯ І ЗНИЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ УСТАНОВКИ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ АВТ А12/2 В РЕЖИМІ РОБОТИ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКУ

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

Мета даного проекту полягає у дослідженні роботи установки первинної переробки нафти АВТ А12/2 без вакуумного блоку, визначенні її потенціалу енергозбереження та зниження кількості шкідливих викидів за допомогою методів пінч-аналізу.

Актуальність теми зумовлена тим, що зростання цін на енергію спонукає економніше використовувати енергоресурси з тим, щоб зменшити загальні витрати. Крім того, значно зменшилися темпи зростання виробництва, а це означає, що зменшилися можливості введення в лад нових заводів і освоєння нових технологічних процесів, і увага прямує все більше у бік підвищення ефективності використання устаткування, що існує.

The purpose of this project consists in research of work of setting of the primary processing of oil of AVT A12/2 without a vacuum block, determination of its energy expenses potential and declines of amount of harmful extrass potential by the methods of pinch-analysis.

A theme is actuality, because a price advance on energy induces economy to utilize energy resources, to decrease general charges.. In addition, the rates of growth of production, possibilities of introduction to the line-up of new factories and mastering of new technological processes, diminished, and it is necessary to pay a regard to increase of efficiency of the use of existent equipment.

Ключові слова: нафта, вакуумний блок, система потоків, теплообмін, пінч-аналіз, складові криві, утиліти, енергозберігаючий потенціал.

Постановка проблеми. Проблема забезпечення української економіки енергоносіями – одна з найактуальніших у наш час. Газ, нафту, вугілля і навіть електроенергію доводиться імпортувати. Дефіцит енергоносіїв тягне за собою багато наслідків: недобір врожаю, систематичне відключення населених пунктів від електропостачання і т.д.

Науково-технічний прогрес, поліпшення якості продукції, поліпшення умов праці, інтенсифікація всього суспільного виробництва визначаються розвитком енергетики країни, основою якої є паливна база та підприємства з переробки палива. Збільшення обсягів виробництва, яке очікується протягом найближчих десяти років, обумовлює зростання попиту на енергію та електроенергію. Незважаючи на те, що встановлена потужність переробки підприємств України є високою, реальна робоча потужність знижується. Виникає потреба в реабілітації існуючих установок і обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Скорочення споживання паливно-енергетичних ресурсів в промисловості зв'язане з широкомасштабною реалізацією сучасних енергозберіжних технологій, створенням високоєфективних енерготехнологічних комплексів. Хоча це питання далеко не нове для нафтохімічної промисловості, в останнє десятиліття додалися два чинники, які надали особливе значення економії енергії в країнах СНД і вимушують розширювати діапазон використовуваних для цієї мети методів і засобів. По-перше, зростання цін на енергію спонукає економніше використовувати енергоресурси з тим, щоб зменшити загальні витрати. Більш того, всі підприємства, спроектовані і побудовані за часів низьких цін на енергоносії, в даний час працюють далеко не в оптимальному режимі з погляду споживання енергії. По-друге, значно зменшилися темпи зростання виробництва, а це означає, що зменшилися можливості введення в лад нових заводів і освоєння нових технологічних процесів, і увага прямує все більше у бік підвищення ефективності використання існуючого устаткування [1, 2].

Установки первинної переробки нафти складають основу всіх НПЗ. На них виробляються практично всі компоненти моторних палив, змащувальних масел, сировини для вторинних процесів і для нафтохімічних виробництв. Проблемам підвищення ефективності роботи і інтенсифікації установок АВТ завжди приділялася і приділяється серйозна увага. Атмосферно-вакуумній перегонці піддається вся нафта, що поступає на нафтопереробний завод, і витрачається тут близько 50 % сумарних енерговитрат [3].

Основними шляхами підвищення конкурентоспроможності вітчизняної нафтопереробки і нафтохімії є збільшення глибини переробки нафти і істотне зниження енергоємності всіх процесів. Зниження питомого енергоспоживання досягається шляхом модернізації окремих систем виробництва, установок і заводів в цілому, раціоналізації і вдосконалення виробничих операцій [4].

Випуск різноманітної продукції у нафтопереробці залежить багато в чому від якості сировини – нафти. Але чималу роль у якості отримуваних продуктів відіграє як вибір технологічних процесів переробки, так і якість проведення кожного процесу.

На даний час найбільш досконалими методами модернізації і оптимізації установок первинної переробки нафти є методи пінч-аналізу і пінч-проекування. Крім того, методи пінч-аналізу дозволяють оцінити додаткову кількість теплообмінників, їх площу поверхні теплообміну, а значить, і вартість їх установки ще до виконання самого проекту реконструкції. А це і дозволяє оцінити необхідні інвестиції і термін їх окупності, оскільки загальний прибуток визначається з потенціалу енергозбереження [5].

Постановка завдання. У даній роботі розглядається процес переробки нафти на установці АВТ А12/2. На сьогоднішній день вона є найбільш використовуваною в сучасній промисловості. Установка включає стадії знесолонання, зневоднення, відбензинення нафти, розділення нафтогазових сумішей на окремі фракції.

Для екстракції даних для теплоенергетичного і матеріального балансів установки АВТ А12/2 використовувалася програма Unisim Design, що є програмним пакетом, призначеним для моделювання в стаціонарному режимі, проектування хіміко-технологічних виробництв, контролю продуктивності устаткування, оптимізації і бізнес - планування в області здобичі і переробки вуглеводнів і нафтохімії.

Екстракція даних. Моделювання процесу. Відбензинена нафта з низу К-1, 1а з температурою 200—250 °С подається в змішувачі пічок П-1, 2. Зверху колони К-2, 2а по трубах виводиться хвостова фракція бензину і дизельного палива в паровій фазі і поступає в колону К-3 як перетік – потік живлення. Фракція бензину, як дистилляту К-2а і дизельного палива поступає у верхню секцію відпарної колони К-5/1, звідки через теплообмінники повертається в К-2, К-2а. Пари із стріпінга К-5/1 поступають в К-3 на 16 тарілку. З 11, 13 тарілок К-2 і 9, 11, 13 тарілок К-2а може виводитися атмосферний газойль, який поступає в стріпінг відпарної колони К-5/3, звідки забирається паровим насосом і відкачується до потоку дизельного палива або мазуту для зрошування теплообмінників. Пари зі стріпінга К-5/3 поступають в К-2, 2а.

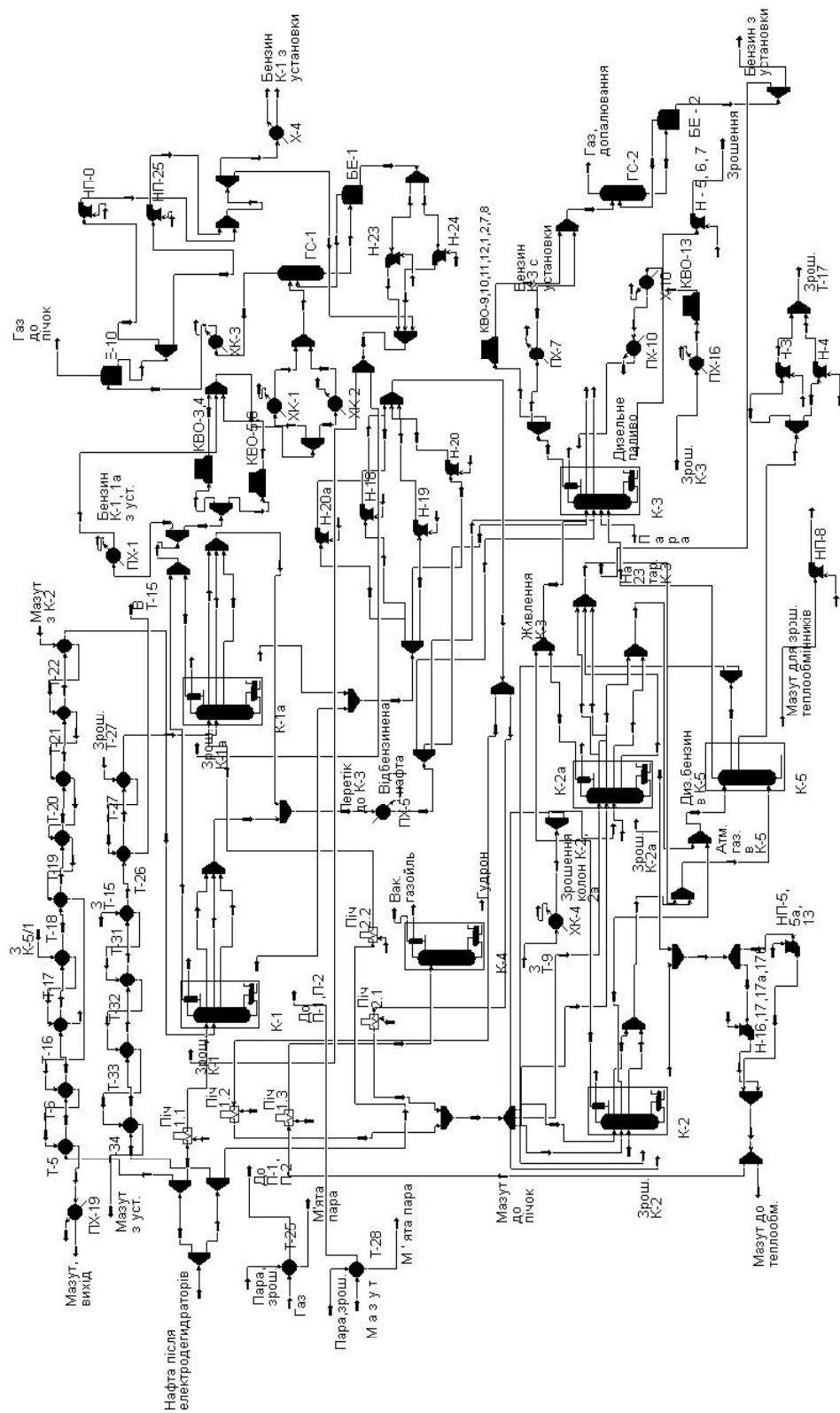
Зверху К-3 відганяється хвостова частина бензину. Пари бензину по шлемових трубах поступають в конденсатори, де відбувається охолодження і конденсація, газосепаратор, в якому проводиться очищення бензину від домішок і води, а потім прямує в буферну ємність. Дизельне паливо з низу К-3 прокачується через теплообмінники і прямує в парк.

Мазут з низу колон К-2, 2а, К-5/1, 2, 3 використовується для зрошування теплообмінників, необхідних для підігріву початкової суміші, а також підвищення температури знесоленої і зневодненої нафти перед подачею в колони К-1 і К-1а.

Для уточнення даних про температури і витрати потоків, отриманих шляхом прямих вимірювань, проведено моделювання існуючого процесу переробки нафти на установці АВТ А12/2 за допомогою програми Unisim Design. Це дозволить отримати максимально точні уявлення про склади потоків, молярні і масові витрати, температури.

Крім того, моделювання процесу в Unisim Design значно спростить складання матеріального і теплового балансів, а також надасть точніші відомості про кількість необхідних гарячих і холодних утиліт. В даному випадку розглядатиметься процес переробки нафти після знесолоння і зневоднення сирової нафти в електродегидраторах, після попереднього підігріву в мережі теплообмінників. Першим етапом стало завдання матеріального потоку знесоленої і зневодненої нафти з докладною характеристикою нафтової суміші, її газової частини, кривих розгону, молекулярних мас, щільності, в'язкості і розбиття на псевдокомпоненти.

Матеріальні потоки, необхідні для розрахунку матеріального балансу установки, позначені темними стрілками. Світлим стрілками представлені енергетичні потоки, за допомогою яких можливе отримання докладної інформації про кількість гарячих і холодних утиліт, необхідних для здійснення процесу переробки нафти. Значення енергетичних потоків дозволяють точніше скласти тепловий баланс установки. Далі, відповідно до наявної схеми установки АВТ А12/2, було встановлено відповідне устаткування. Печі тут представлені у вигляді нагрівачів з відповідним навантаженням для кожного потоку (рис. 1).



К-1, К-1а, К-2, К-2а – атмосферні колони ректифікації і розгону відбензиненої нафти; К-3 – колона ректифікації для отримання дизельного палива; К-4 – вакуумна колона; К-5 – відпарна колона; Т – теплообмінник; Х, ПХ – холодильники; Н, НП – насоси.

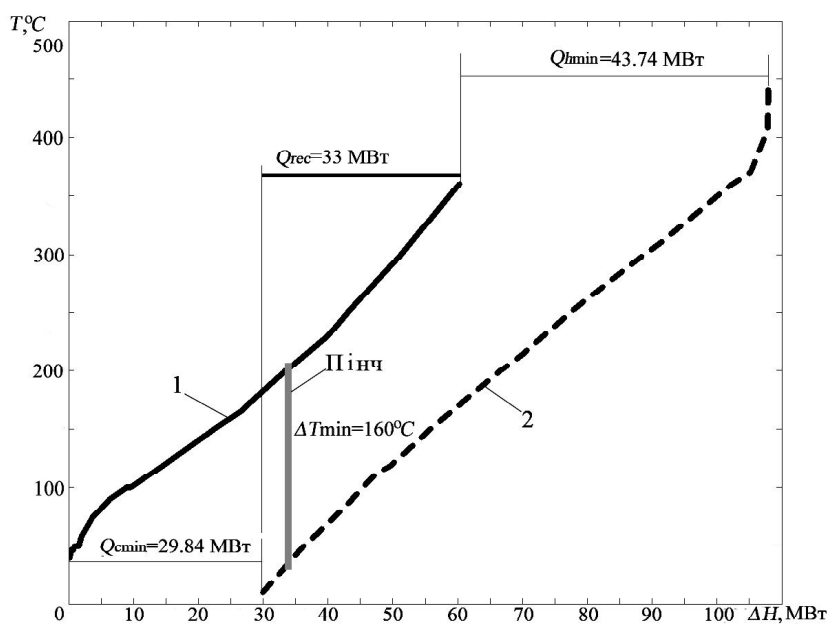
Рис. 1 – Існуюча схема установки АВТ А12/2, змодельована в Unisim Design

Визначення енергозберігаючого потенціалу установки АВТ-А12/2 «Херсонського нафтопереробного заводу». По змряних температурах технологічних потоків і значеннях їх потокових теплоємностей CP ми визначаємо навантаження кожного з рекуперативних теплообмінників. Визначаючи і підсумовуючи теплові навантаження всіх рекуперативних теплообмінників, отримуємо, що в існуючій теплообмінній схемі установки АВТ А12/2 рекуперується в даний час потужність приблизно рівна 29 МВт.

Використовуючи технологічні дані, уточнені за допомогою моделювання в Unisim Design побудуємо на ентальпійно-температурній діаграмі гарячу і холодну складові криві обраної системи технологічних потоків, і далі розмістимо їх так, щоб інтервал перекриття між ними склав величину в 29 МВт (рис. 2).

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. Проекція холодної складової кривої на ентальпійну вісь показує значення потужності, яку необхідно підвести до холодних потоків.

Для проведення процесу необхідна потужність ~ 74 МВт, але частина енергії може бути рекуперована за допомогою системи теплообміну між холодними і гарячими потоками. Величину потужності і показує перекриття кривих. Це значення на діаграмі кривих рівне ~ 33 МВт. Найменша відстань між кривими по вісі ординат – область пінчу обраної системи технологічних потоків. У нашому випадку пінч на температурах: $T_{\text{гар}} = 200^\circ\text{C}$ і $T_{\text{хол}} = 40^\circ\text{C}$. Різниця температур в області пінчу рівна $\Delta T_{\text{min}} = 160^\circ\text{C}$. Ця різниця була б мінімальною між теплоносіями в теплообмінному устаткуванні, якби виконувалися умови вертикального теплообміну, але в даний час в теплообмінній системі установки значна частина теплової енергії передається між теплоносіями в умовах перехресного теплообміну, тому на теплообмінних апаратах спостерігаються різниці температур між теплоносіями менші, ніж ΔT_{min} . Тут видно також і перенесення теплової енергії через пінч. Перехресний теплообмін, спостережуваний в існуючій теплообмінній мережі установки АВТ А12/2, призводить до значного завищення площі поверхні теплообміну в теплообмінних мережах.



1 – гаряча складова крива; 2 – холодна складова крива; Q_{min} – мінімальна кількість гарячих утиліт;
 Q_{min} – мінімальна кількість холодних утиліт; Q_{rec} – потужність рекуперації енергії; T – температура;
 ΔH – зміна ентальпій потоків.

Рис. 2 – Складові криві існуючого процесу

Область пінчу ділить об'єднану систему технологічних потоків і утиліт на дві енергетично незалежні підсистеми. Вище пінчу дотримується енергетичний баланс між потоками, що належать холодній кривій і потоками гарячої кривої плюс гарячі утиліти. Нижче пінчу дотримується енергетичний баланс між потоками з гарячої кривої і потоками холодної складової кривої плюс холодні утиліти. Це дає основне правило проектування енергоефективних теплообмінних систем промислових процесів: заборони перенесення теплової енергії через пінч. Системи теплообміну між гарячими потоками і холодними, плюс

утиліти нижче пінчу і вище пінчу проектується роздільно і потім зшиваються на пінчі. Якщо ж в системі технологічних потоків існує перенесення через пінч, то це означає, що теплова енергія опосередковано, через недосконалу теплообмінну систему, переноситься від гарячих утиліт до холодних. Малі значення коефіцієнтів теплопередачі визначаються як великою в'язкістю теплоносіїв і тим, що в даний час установка АВТ А12/2 працює на половину потужності.

Від утилітної системи процес зараз споживає ~ 50 МВт потужності. Але реальне споживання теплової енергії самим процесом первинної переробки дещо менше, оскільки частина енергії втрачається на устаткуванні установки, і ця частина складає величину порядку 8 МВт. Якщо до корисної потужності пінчок додати потужність, що відноситься з газами, що відходять ~ 20.4 МВт, то отримаємо оцінку потужності, яка виділяється при згоранні палива в печі ~ 70.4 МВт. Застосовуючи апарат складових кривих ми можемо достатньо точно оцінити необхідну площу поверхні теплообміну для проєктованого або такого, що реконструюється, процесу. Далі, використовуючи ціни на теплообмінне устаткування, отримані від його виробників, можемо ще до виконання проєкту реконструкції оцінити необхідні капітальні витрати і термін їх окупності. Для кожухотрубчастих теплообмінників, вартість 1 м² поверхні теплообміну можна оцінити величиною 20 дол. США, а для аналогічних Російських апаратів – величиною 60 дол. США. Вартість встановленого устаткування, як правило, в два рази перевищує його ринкову вартість, тобто ми можемо прийняти для оцінки вартості інсталюваного устаткування величину в 110—120 дол. США за 1 м² площі поверхні теплообміну, і отже капітальну вартість одного теплообмінного апарату можна визначити за формулою:

$$\text{Кап.вартість} = A_T + B_T \cdot (S)^c,$$

де $A_T = 5000$ дол. США — вартість установки одного теплообмінного апарату;

B_T — коефіцієнт, еквівалентний вартості 1 м² площі поверхні теплообміну;

S — площа поверхні теплообміну теплообмінного апарату;

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

Вартість енергії оцінимо за ринковою вартістю мазуту, що дорівнює 112 дол. США за 1 тону, це відповідає величині 87 дол. США за 1 кВт на рік.

Дані значення за допомогою складових кривих дозволяють визначити оптимальну величину $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{C}$. Ця різниця температур цілком досяжна на кожухотрубчастих теплообмінниках, тому побудуємо складові криві для $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{C}$ (рис. 3). Ми бачимо, що пінч локалізується на температурі 150°C для гарячих потоків, і для холодних потоків – 130°C . Складові криві показують, що при досягненні $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{C}$ холодні утиліти дорівнюють 1.6 МВт, гарячі утиліти при цьому набувають значення рівне 19.4 МВт, що в 2.5 рази менше, ніж процес отримує від утилітної системи в даний час.

Таким чином, виконання реконструкції системи теплообміну дозволить зменшити потужність, споживану процесом первинної переробки нафти на 28.3 МВт. У системі теплообміну буде рекуперована потужність коло 60 МВт. Для цього буде потрібно 30872 м² площі теплообмінної поверхні.

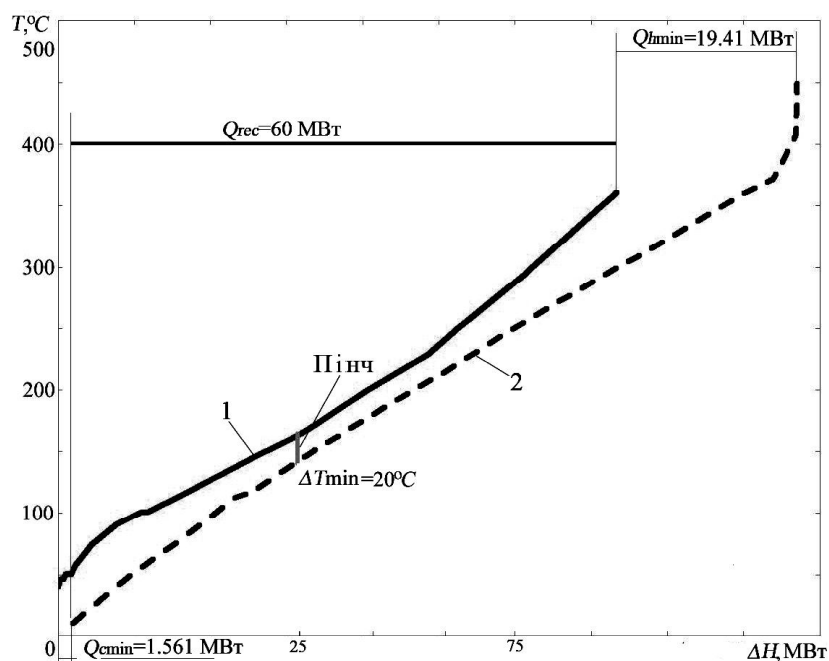
В даний час теплообмінна схема установки АВТ А12/2 містить 43 кожухотрубчастих теплообмінних апарати загальною площею поверхні теплообміну 10638 м², вони можуть бути використані в новій технологічній схемі теплообмінної системи. Отже, додатково при виконанні проєкту реконструкції теплообмінної системи необхідно буде встановити 20234 м² площі поверхні теплообміну.

Також слід відмітити, що якщо закрити теплоізоляцією відкриті нагріті поверхні устаткування, то можна зменшити потужність конвективних і випромінювальних втрат в навколишнє середовище, принаймні, на 6 МВт. Отже оцінка загального енергозбережного потенціалу установки АВТ А12/2 дає величину ~ 34.3 МВт.

Крім того, завдяки проєкту реконструкції значно знижуються показники шкідливих викидів до атмосфери (СО, NOX), як показано в табл. 1.

Таблиця 1 – Зниження показників шкідливих викидів до атмосфери

Кількість викидів	Вуглеводні, г/сек	SO ₂ , г/сек	CO ₂ , г/сек	NO ₂ , г/сек
До виконання проєкту реконструкції	29,08	22,84	0,897	3,22
Після виконання проєкту реконструкції	7,27	5,71	0,224	0,8



1 – гаряча складова крива; 2 – холодна складова крива; Q_{hmin} – мінімальна кількість гарячих утиліт;
 Q_{cmin} – мінімальна кількість холодних утиліт; Q_{rec} – потужність рекуперації енергії;
 T – температура; ΔH – зміна ентальпії потоків.

Рис. 3 – Складові криві інтегрованого процесу

Висновки. Методи пінч-аналізу дозволяють оцінити додаткову кількість теплообмінників, їх площу поверхні теплообміну, а значить, і вартість їх установки ще до виконання самого проекту реконструкції. А це дозволяє оцінити необхідні інвестиції і термін їх окупності, оскільки загальний прибуток визначається з потенціалу енергозбереження.

Таким чином, річний прибуток від впровадження даного проекту складе величину 3387900 дол. США, а термін окупності проекту не перевищить 8 місяців.

Крім того, завдяки проекту реконструкції, майже на 75 % знижуються показники шкідливих викидів до атмосфери (CO, NOX).

Література

1. Степанов А.В. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов / А.В. Степанов, Н.И. Сульжик, В.С. Горюнов. – Киев: Техника. 1989. – 170 с.
2. Клименко В.Л. Энергоресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / В.Л. Клименко, Ю.В. Костерин. Л.: Химия. 1985. – 256 с.
3. Гуревич И.Л. Технология переработки нефти и газа. Общие свойства и первичные методы переработки нефти и газа / И.Л. Гуревич. М.: Химия. 1972. – 460 с.
4. Уильям Д. Леффлер. Переработка нефти / Уильям Д. Леффлер. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес». 2004. – 223 с.
5. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульев. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.