

ЛИТЕРАТУРА

1. Грайворонская И. В. Выявление сорбционных свойств ферросплавных шлаков в зависимости от их структуры и состава / Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов: сборник трудов XVIII Междунар. научно-практ. конф. Т. 2. УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х.: «НТМТ», 2010. – 552 с.
2. Лазарев А. Н. Колебательные спектры сложных окислов. Силикаты и их аналоги / А. Н. Лазарев, А. П. Миргородский, И. С. Игнатьев. – Л., 1975. – 296 с.
3. Приймак Т. И. Адсорбция органических соединений и паров воды на натриевом шлакосиликатном сорбенте / Т. И. Приймак, А. П. Зосин, Н. В. Куценко, В. П. Маковчук // Природные и техногенные силикаты для производства строительных и технических материалов. Л.: Наука, 1977. – С. 186-190.
4. Свергузова С. В. Использование шлаков после очистки сточных вод / С. В. Свергузова, Т. А. Василенко // Сб. научн. статей XIII междунар. научно-практ. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов» / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х.: Райдер, 2005. – С. 54.
5. Хоботова Э. Б. Изучение условий активации шлакового сорбента / Э. Б. Хоботова, И. В. Грайворонская, В. В. Даценко, В. Н. Баумер // Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки, 2009. – Вип. 2. – С. 400-406.

Надійшла до редколегії 17.11.2010

УДК 658.26:665.63:338.45

Л. М. УЛЬЄВ, Л. О. МЕЛЬНИКОВСЬКА

Харківський національний технічний університет «ХПІ»

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ЗНИЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ УСТАНОВКИ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ

Проведена екстракція потокових даних установки АВТ А12/2, змодельована схема первинної переробки нафти за допомогою програми HYSYS, що дозволило отримати більш точні дані для розрахунків. Визначено енергозберігаючий потенціал установки АВТ А12/2 без вакуумного блоку і потенціал зниження кількості шкідливих викидів до атмосфери.

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

Ульєв Л. М., Мельниковская Л. О.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Проведена екстракція потокових даних установки, смоделирована схема переробки нафти с помощью программы HYSYS, что позволило получить более точные данные для расчетов. Определен энергозберігаючий потенціал установки АВТ А12/2 без вакуумного блока и потенціал снижения количества вредных выбросов в атмосферу.

Ключевые слова: первичная переработка, нефть, вакуумный блок, система потоків, теплообмен, пинч-анализ, составные кривые, утилиты, энергозберігаючий потенціал

Yljev L., Melnikovska L.

ENERGY SAVING POTENTIAL AND HARMFUL EXTRASS AMOUNT DECLINES OF THE PRIMARY PROCESSING OF OIL

Extraction of stream information of setting was conducted, the chart of processing of oil is modeled by the program HYSYS, that allowed to get more exact information for calculations. Energy saving potential of setting of AVT A12/2 without a vacuum block and declines of amount of harmful extrass potential, was certain.

Key words: primary processing, oil, vacuum block, system flow, heat exchange, pinch-planning, composite curves, utilities, energy expenses potential

Вступ. Скорочення споживання паливно-енергетичних ресурсів в промисловості пов'язане з широкомасштабною реалізацією сучасних енергозберігаючих технологій, створенням високоефективних енерготехнологічних комплексів [1].

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.

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 [2]. 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.

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

Для екстракції даних для теплоенергетичного і матеріального балансів установки АВТ А12/2 використовувалася програма

HYSYS, 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. Програмний пакет HYSYS побудований на основі надійних і перевірених методів розрахунку технологічних процесів. Вже більше 25 років HYSYS застосовується для моделювання процесів здобичі нафти і газу, нафто- і газопереробки. Програма з однаковим успіхом працює в проектних і інжинірингових фірмах, в ПКО заводів, в науково-дослідних інститутах і на заводських установках. На сьогоднішній день інженери і технологи використовують HYSYS як засіб побудови стаціонарних моделей при проектуванні технологічних процесів, для моніторингу стану устаткування і виявлення несправностей, для оптимізації технологічних режимів, бізнес-планування і управління активами. Крім того, використання програми HYSYS дає значний економічний ефект: підвищується продуктивність і прибутковість установок. Економічний ефект від використання програми HYSYS досягається за рахунок оптимізації проектування – можливості в стислі терміни оцінити рентабельність, безпеку і надійність установки, моніторингу стану устаткування – упевненості в тому, що устаткування працює в оптимальному режимі, зменшення витрат на реалізацію проекту – можливості звести до мінімуму кількість помилок і зробити проект менш трудомістким.

Екстракція даних.

Моделювання процесу.

Відбензинена нафта з низу К-1, 1а з температурою 200-250 °С подається в змійовики пічок П-1, 2 (рис.1). З верху 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 стріппінг відпарної колони К-5/3, звідки забирається паровим насосом і відкачується до потоку дизельного палива або мазуту для зрошування теплообмінників. Пари зі стріппінга К-5/3 поступають в К-2, 2а.

З верху 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 HYSYS. Це дозволить отримати максимально точні уявлення про склади потоків, молярні і масові витрати, температури.

Крім того, моделювання процесу в HYSYS 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 знесолення і обезводнення 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. Світлими стрілками представлені енергетичні потоки, за допомогою яких можливе отримання докладної інформації про кількість гарячих і холодних утиліт, необхідних для здійснення процесу переробки нафти. Значення енерге-

тичних 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.

Визначення енергозберігаючого потенціалу установки АВТ-А12/2 „ХНП”

Технологічні дані потоків нафти і інших продуктів, що застосовуються в технології процесу перегонки, були зібрані і представлені в таблиці 1.

Ці технологічні потоки будуть використані у тепловій інтеграції процесу первинної переробки нафти на установці АВТ А12/2.

По зміряних температурах технологічних потоків і значеннях їх потокових теплоємностей CP (табл.1) ми визначаємо навантаження кожного з рекуперативних теплообмінників [4]. 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 з таблиці 1, 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).

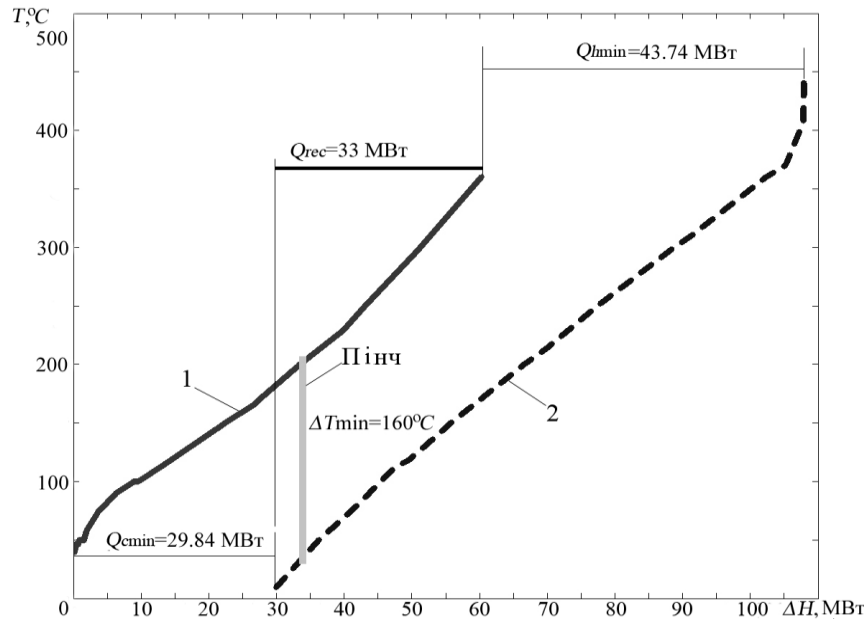
Проекція гарячої складової кривої на ентальпійну вісь (абсцис) показує значення теплової потужності, яку можливо відвести від системи гарячих потоків і використовувати для підігріву холодних технологічних потоків. Проекція холодної складової кривої на ентальпійну вісь показує значення потужності, яку 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 ~ 30 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 $\Delta T_{\text{min}} = 160^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1

Потоки для аналізу енергоспоживання установки АВТ А12/2

№	Назва потоку	Тип	T_s , °C	T_T , °C	G, т/год	C, кДж/(кг·K)	r, кДж/кг	CP, кВт/К	ΔH , кВт	α , кВт/(м ² ·К)
1	Перетік К-1,1а в К-3	гар	173	54	8,20	2,11		4,81	571,93	0,4
2,1	Охолодження пари бензину К-1, 1а	гар	145	50	29,69	2,52		20,78	1974,36	0,1
2,2	Охолодження газу з К-1, 1а	гар	145	40	2,78	2,52		1,95	204,33	0,1
2,3	Конденсація пари бензину К-1, 1а	гар	50	50	29,69		75		618,53	1
2,4	Охолодження бензину К-1, 1а	гар	50	40	29,69	2,11		17,40	174,01	0,4
3,1	Охолодження пари бензину К-3	гар	157	46	17,40	2,52		12,18	1351,98	0,1
3,2	Конденсація пари бензину К-3	гар	46	46	17,40		75		362,50	1
3,3	Охолодження водяної пари К-3	гар	157	100	1,05	2,00		0,58	32,96	0,12
3,4	Конденсація водяної пари К-3	гар	100	100	1,05		2256		658,00	2
3,5	Охолодження води К-3	гар	100	46	1,05	4,19		1,22	65,99	0,8
4	Дизельне паливо	гар	229	200	71,11	2,70		68,29	1980,27	0,2
		гар	200	100	71,11	2,42		58,81	5880,67	0,2
		гар	100	58	71,11	2,10		51,76	2174,05	0,2
5	Циркуляційне зрошення К-3	гар	165	74	75,79	2,11		55,87	5083,79	0,15
6	Циркуляційне зрошення К-2,2а	гар	295	144	30,73	2,11		29,85	4507,90	0,15
7	Мазут	гар	360	300	133,08	2,90		150,01	9000,85	0,15
		гар	300	250	133,1	2,71		135,78	6789,08	0,15
		гар	250	200	133,1	2,54		122,99	6149,54	0,15
		гар	200	150	133,1	2,36		109,87	5493,37	0,15
		гар	150	90	133,1	2,17		95,69	5741,42	0,15
8	Сольовий р-н з ЕЛОУ	гар	115	40	15,05	4,21		17,14	1285,61	0,8
9	Сира нафта	хол	10	50	250,85	1,95		142,55	5701,96	0,1
		хол	50	118	250,85	2,10		170,22	11574,78	0,1
10	Знесолена нафта	хол	112	150	248,34	2,28		192,17	7302,34	0,15
		хол	150	200	248,34	2,47		214,40	10720,07	0,15
		хол	200	214	248,34	2,65		231,36	3239,06	0,15
11	Відбензинена нафта в АЗАЧП П-1	хол	214	250	56,00	2,75		54,87	1975,49	0,15
		хол	250	300	56,00	2,84		59,75	2987,44	
		хол	300	371	56,00	3,18		66,73	4737,86	
	Відбензинена нафта в АЗВЧП П-1	хол	214	250	26,00	2,75		25,48	917,19	0,15
		хол	250	300	26,00	2,84		27,74	1387,03	
		хол	300	310	26,00	2,97		29,42	294,16	
12	Відбензинена нафта в ЛЗ П-2	хол	214	250	64,00	2,75		62,71	2257,71	0,15
		хол	250	300	64,00	2,84		68,28	3414,22	
		хол	300	370	64,00	3,18		76,17	5331,73	
	Відбензинена нафта в ПЗ П-2	хол	214	250	64,00	2,75		62,71	2257,71	0,15
		хол	250	300	64,00	2,84		68,28	3414,22	
		хол	300	370	64,00	3,18		76,17	5331,73	
13	Мазут через ВЗВЧП П-1	хол	360	407	53,29	2,90		65,68	3086,84	0,15
14	Вода на ЕЛОУ	хол	10	80	12,54	4,20		14,60	1021,87	0,8
15	Перегрів пари в П-1	хол	135	450	1,05	2,69		2,60	819,88	0,6
16	Газ до пічок	хол	31	80	3,00	2,52		2,10	102,90	0,1
17	Мазут до пічок	хол	49	80	3,79	2,05		2,32	71,80	0,1



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. 2. Складові криві існуючого процесу

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.

Область пінчу ділить об'єднану систему технологічних потоків і утиліт на дві енергетично незалежних 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 енерго-ефективних теплообмінних систем промислових процесів: заборони перенесення теплової енергії через пінч [5]. Сис-

теми теплообміну між гарячими потоками і холодними, плюс утиліти нижче пінчу і вище пінчу проектуються роздільно і потім зшиваються на пінчі. Якщо ж в системі технологічних потоків існує перенесення через пінч, то це означає, що тепла 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 печей 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 складених кривих ми можемо достатньо точно оцінити необхідну площу поверхні теплообміну для проектного або такого, що реконструюється процесу.

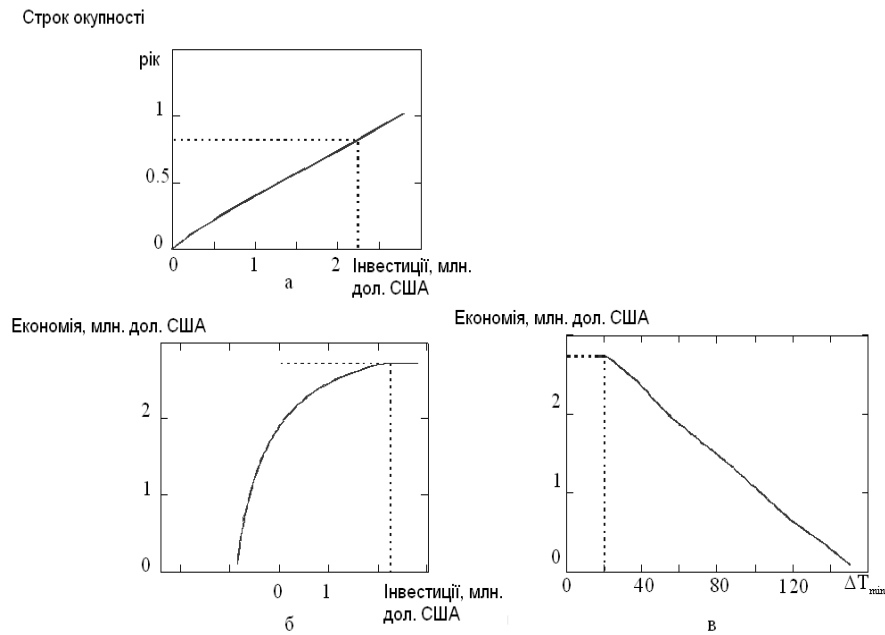
Далі, використовуючи ціни на теплообмінне устаткування, отримані від його виробників, можемо ще до виконання проекту реконструкції оцінити необхідні капвкладення і термін їх окупності. Для кожухотрубчатих теплообмінників, вартість 1 м² поверхні теплообміну можна оцінити величиною 20 дол. США, а для аналогічних 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 виразом:

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

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 кожухотрубчатих теплообмінників, як правило, $c = 0.87$.

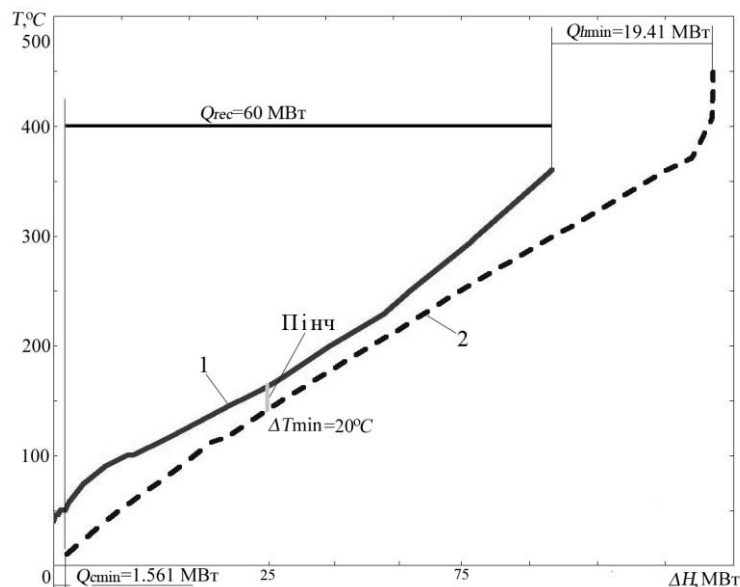
Вартість енергії оцінимо за ринковою вартістю мазуту - 112 дол. США за 1 тону, що відповідає величині 87 дол. США за 1 кВт рік. Дані значення за допомогою складених кривих дозволяють побудувати діаграми для визначення величини ΔT_{\min} , величини інвестицій в додаткову до існуючої площі поверхні теплообміну і термін окупності пропонованого проекту (рис.3). Ми бачимо, що завдання енергозберігаючої реконструкції установки має пороговий характер, тобто при перевищенні деякого значення інвестицій річна економія перестає збільшуватися (рис. 3,б). Даний поріг відповідає капвкладенням в 2.23 млн. дол. США, термін окупності даних інвестицій складе 0.82 року. Мінімальна різниця температур між теплоносійми на теплообмінних апаратах поблизу порогового значення енергоспоживання, декілька перевищує величину $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{C}$.

Дана різниця температур цілком досяжна на кожухотрубчатих теплообмінниках, тому побудуємо складені криві для $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{C}$ (рис. 4). Ми бачимо, що пінч локалізується на температурі для гарячих потоків, рівною 150°C , і відповідно для холодних потоків - 130°C . Складові криві показують, що при досягненні $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{C}$ холодні утиліти



а – залежність строку окупності проекту від інвестицій в реконструкцію; б – крива економічної ефективності; в – залежність отриманого прибутку від мінімальної різниці температур

Рис. 3. Визначення оптимального значення мінімальної різниці температур за обраним критерієм реконструкції системи теплообміну



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. 4. Складові криві інтегрованого процесу

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.

Отже, додатково при виконанні проекту 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 енергозберігаючого потенціалу установки АВТ А12/2 дає величину ~ 34.3 МВт.

В даний час теплообмінна схема установки АВТ А12/2 містить 43 кожухо-трубчастих теплообмінних апарати загальною площею поверхні теплообміну 10638 м², вони можуть бути використані в новій технологічній схемі теплообмінної системи.

Крім того, завдяки проекту реконструкції значно знижуються показники шкідливих викидів до атмосфери (СО, NOX), як показано в табл. 2.

Таблиця 2

Зниження показників шкідливих викидів до атмосфери

Кількість викидів	СО, мг/ м ³	NOX, мг/ м ³
До виконання проекту реконструкції	78	113
Після виконання проекту реконструкції	7,5	15

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 і дозволяє оці-

нити 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Степанов А. В. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов / А. В. Степанов, Н. И. Сульжик, В. С. Горюнов. – К.: 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. Тобажнянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульев. – Х.: ХГПУ, 2000. – 457 с.

Надійшла до редколегії 12.11.2010