

Reference

1. Burzhe, Zh. Termicheskie metody povysheniya nefteotdachi plastov [Thermal methods of oil recovery enhancement] / Zh. Burzhe, P. Surio, M. Kombarnu. — Moscow, 1988. — 422 pp.
2. Nikitina, L.A. Uvelichenie nefteotdachi plastov s pomoshch'yu termicheskikh metodov [Increase of oil recovery of layers by thermal methods] / L.A. Nikitina. — Moscow, 1967. — 131 pp.
3. Sokolov, E.Ya. Teplosnabzhenie i teplovye seti [Heat supply and thermal networks] / E.Ya. Sokolov. — Moscow, 2001. — 471 pp.
4. Tsentrobezhnyye konsolnye nasosy dlya vody tipa K. [Centrifugal cantilever pumps for water type K]. [Electronny resurs] — Chimki, 2012. — <http://www.rimos.ru/catalog/group/695>. — 10.09.2012.
5. Izolyatsiya dlya trub [Insulation for pipes]. [Electronny resurs] — Dnepropetrovsk, 2012. — http://akvalend.ua/catalogue/fid_19/?gclid=CPf8wv2s4a8CFcVN3godDF2Pjw. — 10.09.2012.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Воинов А.П.

Поступила в редакцию 15 октября 2012 г.

УДК 665.63

М.В. Максимов, д-р техн. наук, проф.,
В.І. Кривда, магістр,
Одес. нац. політехн. ун-т

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ В УСТАНОВКАХ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ

М.В. Максимов, В.І. Кривда. Удосконалення рекуперативного теплообміну в установках первинної переробки нафти. В технологічну схему установки первинної переробки нафти впроваджено компресорні установки, що дозволило підвищити температурний потенціал та використати рекуперативну теплоту.

Ключові слова: температурний напір; пінч-аналіз; рекуперативний теплообмінник.

М.В. Максимов, В.І. Кривда. Усовершенствование рекуперативного теплообмена в установках первичной переработки нефти. В технологическую схему установки первичной переработки нефти внедрены компрессорные установки, что позволило повысить температурный потенциал и использовать рекуперативную теплоту.

Ключевые слова: температурный напор; пинч-анализ; рекуперативный теплообменник.

M.V. Maksimov, V.I. Kryvda. Improvement of recuperative heat exchange in installations of primary petroleum refining. In the flow diagram of an installation for primary petroleum refining the compressor plants are introduced. It allowed to increase temperature potential, as well as to use recuperative heat.

Keywords: temperature pressure; pinch-analysis; recuperative heat exchanger.

Ефективне використання теплової та електричної енергії є запорукою мінімізації витрат будь-якого промислового підприємства, зокрема нафтопереробного заводу. Застосування рекуперативного теплообміну є одним з напрямків оптимізації виробництва первинної перегонки нафти на установці електрознесолювання (ЕЛОУ) — атмосферно-вакуумній трубчатці (АВТ).

Передбачається в існуючу схему установки ЕЛОУ-АВТ впровадити компресори [1]. Це дозволить використати рекуперативну теплоту в діючому технологічному процесі, яка раніше відводилася в навколишнє середовище.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути енергетичні потоки при експлуатації ЕЛОУ-АВТ з компресорами;
- визначити реальний температурний напір після впровадження в процес компресорів;
- розрахувати нове оптимальне значення температурного напору з урахуванням вартості компресорів та двигунів насосів;
- виконати розташування рекуперативних теплообмінників на сітковій схемі;
- побудувати нову енерготехнологічну схему установки первинної переробки нафти.

Аналіз гарячих і холодних теплових потоків установки ЕЛОУ-АВТ після впровадження компресорів виконується за допомогою метода пінч-аналізу [2, 3]. Сіткову схему теплових потоків схеми рекуперативного теплообміну після застосування компресорів представлено на рис. 1. “Г” означає гарячі потоки, а символ “Х” — холодні потоки.

Теплофізичні параметри: T_s , T_T — температури на початку та в кінці потоку, відповідно; G — витрати сировини в потоці; C — теплоємність; r — потайна теплота фазового переходу; CP — потокова теплоємність, ΔH — зміна потокового тепловмісту та потокові дані технологічних потоків без використання компресорів визначено [4]. Після впровадження компресорів ці параметри згідно [2, 4] представляються в табл. 1.

Таблиця 1

Потокові дані теплових потоків в технологічних теплообмінниках

Назва потоку	Тип	T_s , °C	T_T , °C	G , кг/с	C , кДж/кг·К	r , кДж/кг	CP , кВт/К	ΔH , кВт
УДФ Т-1/1,2	гар.	160,0	73,2	20,0	1,99		39,8	3448,5
УДФ ПХ-31	гар.	73,2	63,0	20,0	1,76		35,2	362,3
ДФ Т-6/1-6	гар.	286,3	176,0	28,3	2,53		71,6	7895,8
ДФ Т-2/1-3	гар.	176,0	133,1	28,3	2,17		61,4	2637,2
ДФ ПХ-23/1,2	гар.	137,6	58,0	28,3	1,90		36,8	2927,1
ГФ Т-3/1-3	гар.	190,4	112,9	29,9	2,18		64,9	5033,3
ГФ ПХ-22	гар.	112,9	57,6	28,3	1,85		55,4	3060,8
ВГ Т-5/1-5	гар.	291,6	195,0	20,8	2,52		52,4	5061,9
ВГ Т-1/3-6	гар.	195,0	114,1	20,8	2,12		44,2	3575,6
ВГ ПХ-32/1,2	гар.	114,1	79,6	20,8	1,87		38,9	1343,9
Гудрон Т-4	гар.	346,6	162,6	22,8	2,48		56,4	10382,5
Гудрон ПХ-33/1,2	гар.	162,7	83,3	6,2	1,95		12,1	960,6
Бензин ПХ-1/1,2+Х-1	гар.	148,2	58,3	14,5	1,02		14,9	1337,2
	гар.	58,3	58,3	14,5		180,63		180,6
	гар.	58,3	45,2	14,5	1,58		24,4	320,9
Бензин Х-2 +Х-2+С-2	гар.	123,4	66,4	13,9	0,92		12,8	729,7
	гар.	66,4	66,4	13,9		494,3		494,3
	гар.	66,4	50,1	13,9	3,15		43,6	14101,2
Пропан R290 ПХ-1	гар.	202	62	14,5			45,94	6432,1
Пропан R290 ПХ-2	гар.	152	105	13,9			31,31	1471,6
Нафта Т-1/1,2	хол.	22,0	90,0	29,0	1,7		49,3	3352,4
Нафта Т-1/3-6	хол.	90,0	155,0	29,0	2,0		58,1	3774,9
Нафта Т-2/1-3	хол.	22,0	75,0	28,1	1,66		46,7	2475,0
Нафта Т-3/1-3	хол.	22,0	103,0	34,3	1,73		59,3	4800,5
Нафта Т-4	хол.	108,2	211,5	42,7	2,17		92,7	9571,7
Нафта Т-5/1-5	хол.	108,2	286,4	19,6	2,34		45,9	8182,0
Нафта Т-6/1-6	хол.	108,2	237,2	28,3	2,23		63,0	8126,7
Нафта, піч П-1/2+П-1/1	хол.	229,8	358,1	67,1	4,03		270,4	34672,0
Мазут, піч П-2	хол.	348,8	394,4	163,0	4,12		671,7	30628,2

Згідно з технологічним циклом робочим газом компресорної установки є пропан R290, який після ректифікаційної колони К-1 надходить до повітряного холодильника ПХ-1, а після ректифікаційної колони К-2 — до повітряного холодильника ПХ-2, відповідно. Термодинамічні характеристики R290 визначено в табл. 2 [5, 6].

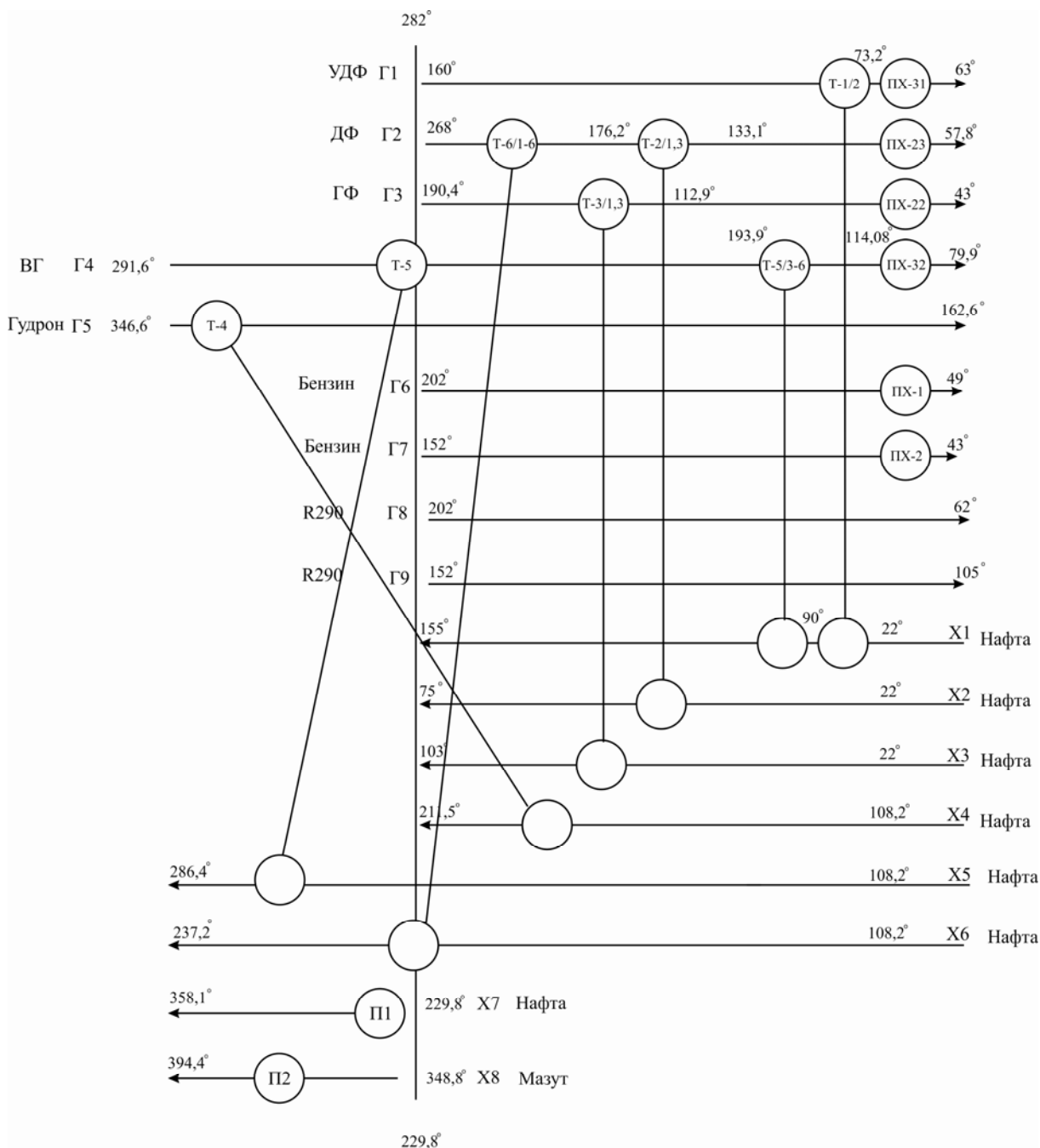


Рис. 1. Сіткова схема теплових потоків схеми рекуперативного теплообміну після застосування компресорів

Робота, яку виконує компресор, визначається за виразом

$$A = \frac{(P_2 - P_1) v_{\text{сер}} G}{\eta},$$

де P_1, P_2 — тиск на початку та в кінці циклу, відповідно;

$v_{\text{ср}}$ — середній питомий об'єм пари за цикл, який визначається як $v_{\text{ср}} = \sqrt{v_1 \cdot v_2}$;

v_1, v_2 — середній питомий об'єм пари на початку та в кінці циклу, відповідно;

G — масові витрати хладагенту R290;

η — коефіцієнт корисної дії компресора, приймається 0,75.

Таблиця 2

Параметри робочого тіла R290 компресорів

№ точки	Температура		Тиск P , МПА	Питомий об'єм пари v , м ³ /кг	Ентальпія h , кДж/кг	Ентропія s , кДж/кг	Густина ρ , кг/м ³	Ізобарна теплоємність C_p , кДж/кг·К
	t , °С	T , К						
Перед ПХ-1								
1	148,2	421,2	2,8	0,0237	1152,4	6,09	42,188	2,488
2	202,0	475,0	8,0	0,0081	1220,4	6,09	124,00	3,159
3	58,0	330,0	2,8	0,0023	681,4	4,78	440,24	3,172
4	62,0	335,0	8,0	0,0022	690,0	4,78	452,00	2,890
Перед ПХ-2								
5	123,4	396,4	0,1	0,739	1140,0	6,60	1,352	2,117
6	152,0	425,0	0,3	0,263	1203,0	6,60	3,803	2,258
7	66,4	339,4	0,1	0,635	1029,9	6,36	1,576	1,875
8	105,0	378,0	0,3	0,235	1101,0	6,36	4,257	2,062

Результати розрахунку потужностей компресорів, необхідних для встановлення в схему первинної переробки нафти ЕЛОУ-АВТ, представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку потужностей компресорів

№ потоку	Масові витрати G , кг/с	Середній питомий об'єм пари $v_{\text{ср}}$, м ³ /кг	Робота A , кВт	Потокова теплоємність CP , кВт/К
Перед ПХ-1				
1-2	14,54	0,01380	1391,2	25,76
3-4	14,54	0,00224	226,0	56,50
Перед ПХ-2				
5-6	13,87	0,441	1631,0	57,03
7-8	13,87	0,386	1428,0	37,00

Використовуючи отримані результати, виконано аналіз гарячих та холодних потоків за допомогою метода пінч-аналізу, в результаті чого побудовано криві, що характеризують ці потоки (рис. 2).

Криві холодних потоків без застосування компресора (крива 1) та з компресором (крива 2) практично співпадають. Температурний напір після застосування компресорів в установці первинної переробки нафти між кривими гарячих та холодних потоків складає 4 °С. Теплоту, яка віддається в навколишнє середовище в схемі без застосування компресорів, позначено $Q_{\text{конд1-3}}$, а в схемі з компресорами — $Q_{\text{конд2-4}}$. Аналогічно теплоту, яка регенеративно передається в теплообмінних апаратах, — $Q_{\text{рекуп1-3}}$ та $Q_{\text{рекуп2-4}}$, а теплоту, яка підводиться до печей, — $Q_{\text{печі1-3}}$ та $Q_{\text{печі2-4}}$, відповідно.

В подальших дослідженнях за допомогою алгоритму табличної задачі [2] визначено оптимальний температурний напір між цими кривими, де критерієм оптимальності приймалися приведені витрати (табл. 4), а саме приведені капітальні витрати мережі (ПКВ_{мережі}), вартість затраченої енергії E та приведені розрахункові витрати мережі ПРВ_{мережі}.

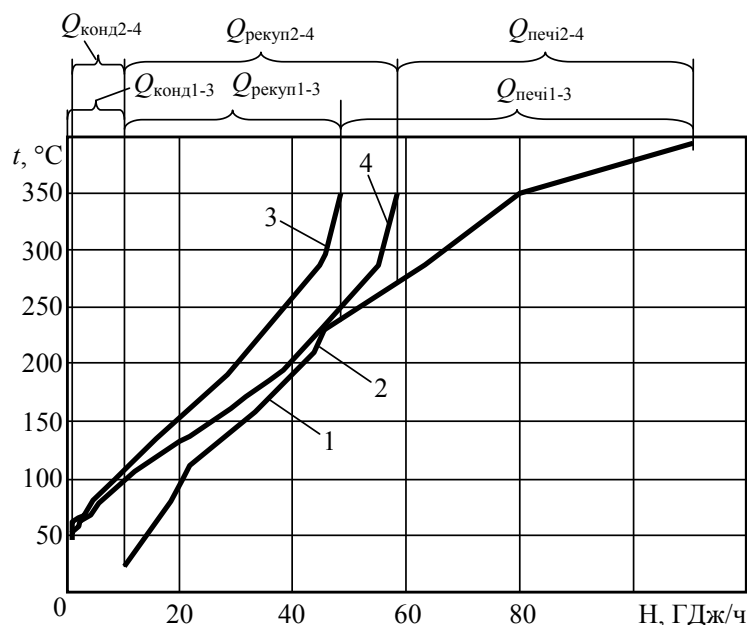


Рис. 2. Холодні потоки без використання компресорів (1), після використання компресорів (2) та гарячі потоки без використання компресорів (3), після використання компресорів (4)

Таблиця 4

Вплив мінімального температурного напору на приведені витрати при застосуванні компресорів на К-1 та К-2

Δt_{\min} , °C	$Q_{\text{гор}}$, МВт	$Q_{\text{хол}}$, МВт	ПКВ _{мережі} , 10^3 у.о.	E , 10^3 у.о.	ПРВ _{мережі} , 10^3 у.о.
50	63,8	17,5	0,96	6,23	7,191
40	61,7	15,6	1,11	6,01	7,120
30	59,9	15,6	1,38	5,84	7,225
20	58,1	12,34	1,86	5,64	7,499
10	56,3	10,67	3,36	5,45	8,816
6	55,6	9,80	5,36	5,37	10,731
4	55,2	9,4	7,85	5,34	13,191

Як видно з таблиці 2, оптимальним температурним напором є 40 °C.

Після визначення оптимального пінча виконується розстановка теплообмінників на сіткової діаграмі [2], які будуть забезпечувати нагрів холодних потоків гарячими (рис. 3). Під теплообмінниками позначені їх теплові навантаження.

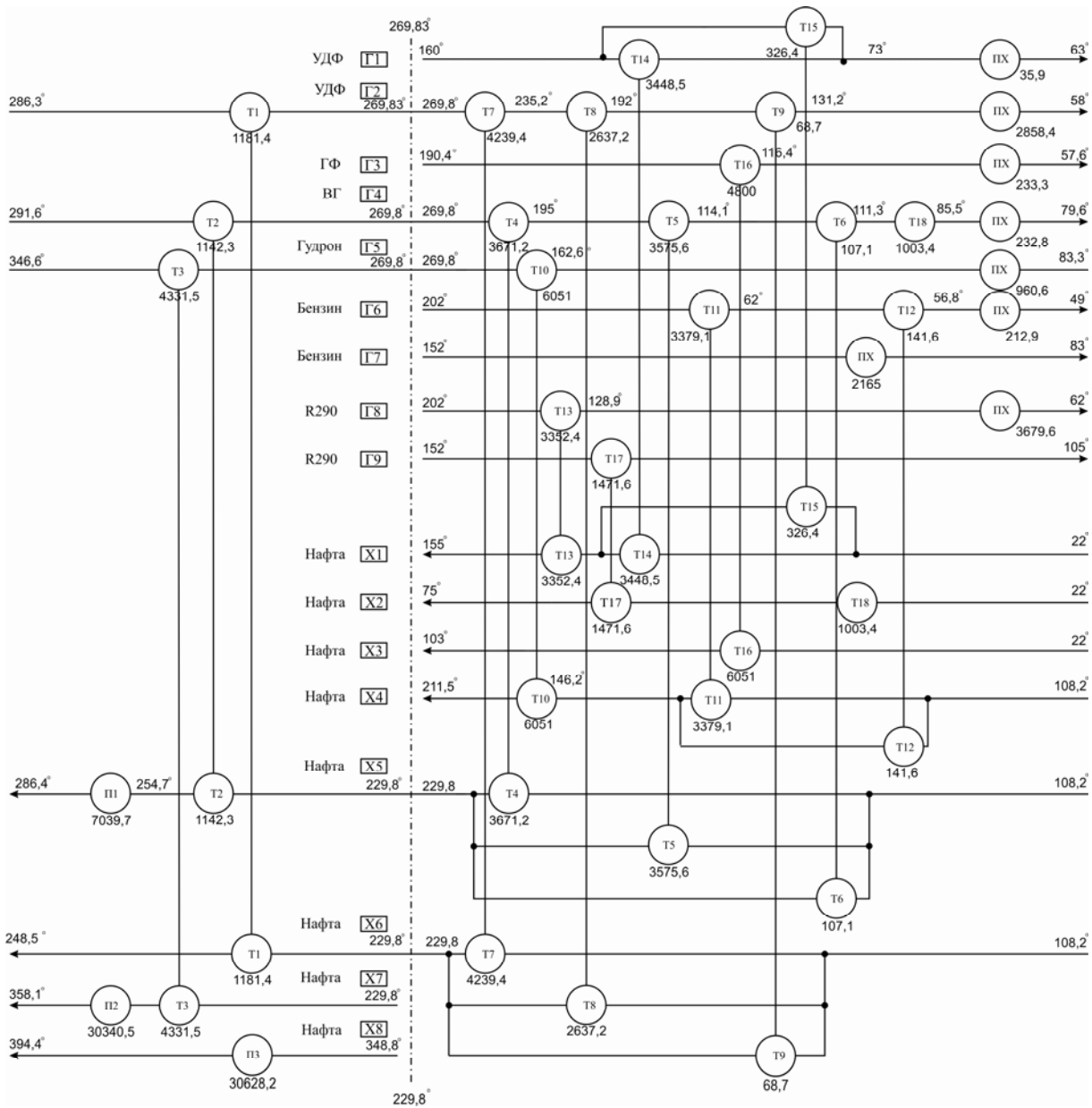


Рис. 3. Розташування теплообмінників на сітковій діаграмі в удосконаленій схемі

Користуючись сітковою діаграмою, є змога побудувати удосконалену енерготехнологічну схему установки первинної переробки нафти ЕЛОУ-АВТ, що використовуватиме рекуперативну теплоту, яка раніше відводилася з відхідними газами у навколишнє середовище (рис. 4).

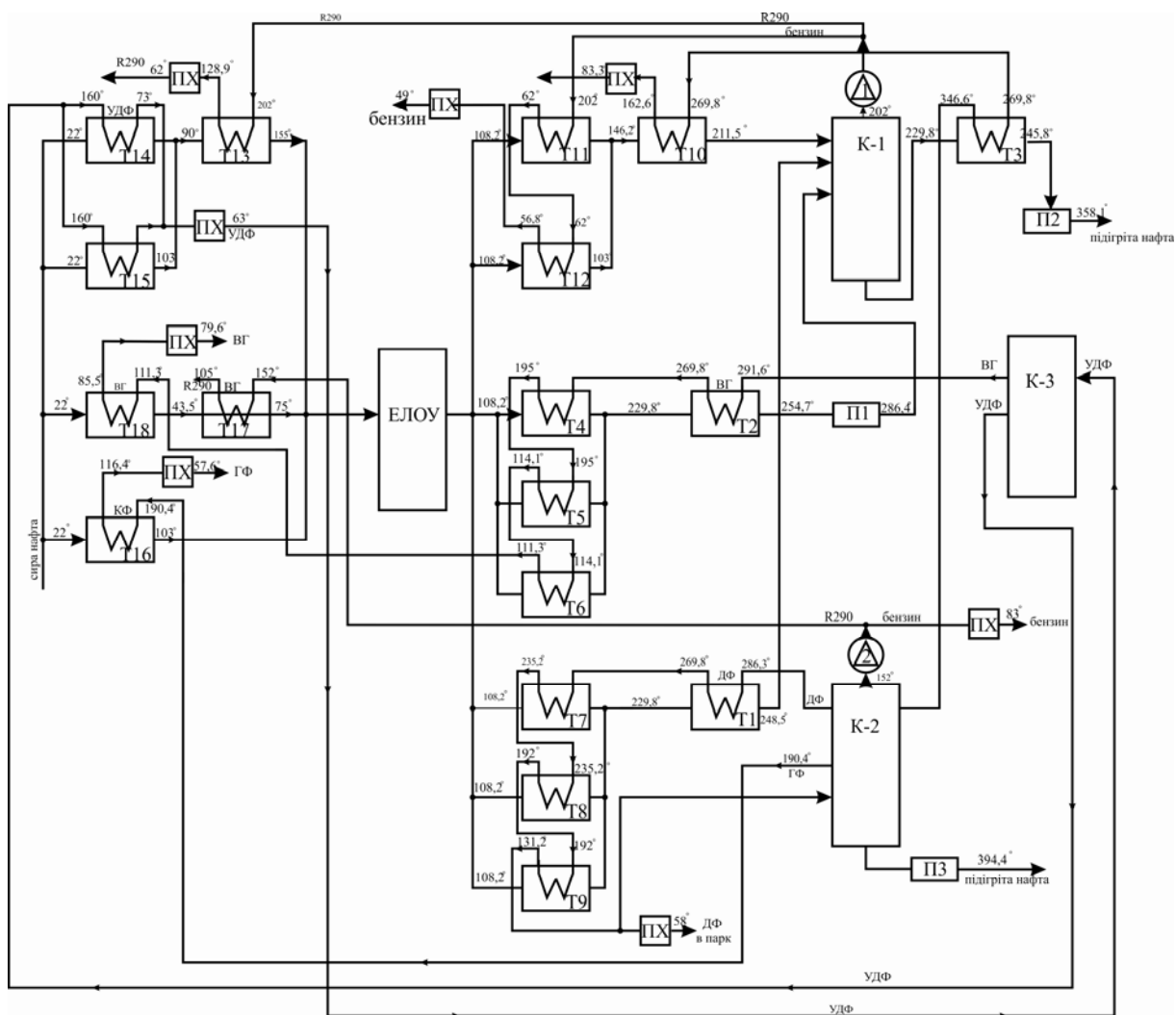


Рис. 4. Удосконалена енерготехнологічна схема установки первинної перегонки нафти з компресорами

В удосконаленій схемі використовуються існуючі теплообмінні апарати, що дозволяє заощадити капітальні витрати на початку реконструкції. В перетвореній схемі менша кількість повітряних холодильників, а температурний потенціал тих, що залишилися, значно зменшився. Це досягнуто завдяки збільшенню температури в потоках рекуперативних теплообмінних апаратів та кількості доступної рекуперативної теплоти в порівнянні зі схемою без компресорів. Крім того, застосування компресорних установок в циклі первинної переробки нафти дозволило за рахунок підвищення температурного потенціалу потоків після колон К-1 і К-2 використати рекуперативну теплоту, яка до цього викидалась у навколишнє середовище з відхідними газами. При цьому температурний напір між кривими гарячих та холодних потоків зменшився з 52 до 40 °С.

Література

1. Максимов, М.В. Определение минимального температурного напора между холодными и горячими потоками для рекуперативных теплообменников ЭЛОУ-АВТ / М.В. Максимов, В.И. Кривда // Холодил. техника і технологія / Одес. держ. акад. холоду. — Одеса. — 2011. — № 3 (131). — С. 56 — 62.

2. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, И. Клемеш, Л.Л. Товажнянский и др. — Харьков: НТУУ “ХПИ”, 2000. — 458 с.
3. Lluvia, M. Ochoa-Estopier Operational optimization of crude oil distillation systems using artificial neural networks / Lluvia M. Ochoa-Estopier, Megan Jobson, Robin Smith // Computer Aided Chemical Engineering / Elsevier — Volume 30. — 2012. — PP. 982–986.
4. Максимов, М.В. Реконструкция установки ЭЛОУ-АВТ на основе оптимизации холодных и горячих потоков / М.В. Максимов, В.И. Крывда // Интегровані технології та енергозбереження / НТУ “ХПИ” — Харків. — 2011. — №4 — С. 10 — 16.
5. Термодинамические свойства пропана / В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов, В.А. Цымарный — М.: Изд-во стандартов, 1989. — 268 с.
6. Васьков, Е.Т. Термодинамические основы тепловых насосов / Е.Т. Васьков; С.-Птб. гос. архит.-строит. ун-т. — СПб., 2007. — 127 с.

References

1. Maksimov, M.V. Opredelenie minimal'nogo temperaturnogo napora mezhdru kholodnymi i goryachimi potokami dlya rekuperativnykh teploobmennikov ELOU-AVT [Determination of Minimal Temperature Pressure between Cold and Hot Flows for Recuperative Heat Exchangers REDA-VDU] / M.V. Maksimov, V.I. Kryvda // Kholodyl. tekhnika i tekhnolohiia / Odes. derzh. akad. kholodu [Refrigerating Engineering and Technology / Odessa State Academy of Refrigeration] — Odesa, 2011. — # 3(131). — pp. 56 — 62.
2. Osnovy integratsii teplovykh protsessov [Fundamentals of Thermal Processes Integration] / R. Smit, I. Klemesh, L.L. Tovazhnyanskiy and others. — Khar'kov, 2000. — 458 pp.
3. Lluvia, M. Ochoa-Estopier Operational optimization of crude oil distillation systems using artificial neural networks / Lluvia M. Ochoa-Estopier, Megan Jobson, Robin Smith // Computer Aided Chemical Engineering / Elsevier — Volume 30. — 2012. — pp. 982–986.
4. Maksimov, M.V. Rekonstruktsiya ustanovki ELOU-AVT na osnove optimizatsii kholodnykh i goryachikh potokov [Reconstruction of installation ELOU-AVT on the basis of optimization of cold and hot streams] / M.V. Maksimov, V.I. Kryvda // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia / NTU “KhPI” — Kharkiv. — 2011. — # 4 — pp. 10 — 16.
5. Termodinamicheskie svoystva propana [Thermodynamic properties of propane] / V.V. Sychev, A.A. Vasserman, A.D. Kozlov, V.A. Tsymarnyy – Moscow, 1989. — 268 pp.
6. Vas'kov, E.T. Termodinamicheskie osnovy teplovykh nasosov [Thermodynamic bases of heat pumps] / E.T. Vas'kov // St.P. gos. arkhит.-stroit. un-t. – St.-Petersburg., 2007. — 127 pp.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Нікульшин В.Р.

Надійшла до редакції 5 листопада 2012 р.