

Максимов М.В., Кривда В.И.

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ ЭЛОУ-АВТ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ХОЛОДНЫХ И ГОРЯЧИХ ПОТОКОВ

Согласно утвержденной программе энергоэффективности на 2010–2015 годы в Украине одной из главных задач любого потребителя современной экономики должно быть повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов [1].

Существуют современные мировые тенденции по минимизации температурного напора и увеличению поверхностей теплообмена с целью экономии первичных энерго-ресурсов [2–5] в связи с уменьшением общей необратимости в процессе теплообмена. Кроме необратимости величина минимального температурного напора в первую очередь зависит от существующих цен и их отношения между стоимостью теплообменного оборудования и стоимостью первичных энергоресурсов.

Целью данной статьи является определение реального температурного напора между холодными и горячими потоками в рекуперативных теплообменниках установки электрообессоливания (ЭЛОУ) – атмосферно-вакуумной трубчатки (АВТ) расположенной на ПАО Лукойл «Одесский НПЗ» с разработкой оптимальной схемы теплообменной сети, которая бы учитывала новые конъюнктурные цены на новое теплообменное оборудование и первичные энергоресурсы.

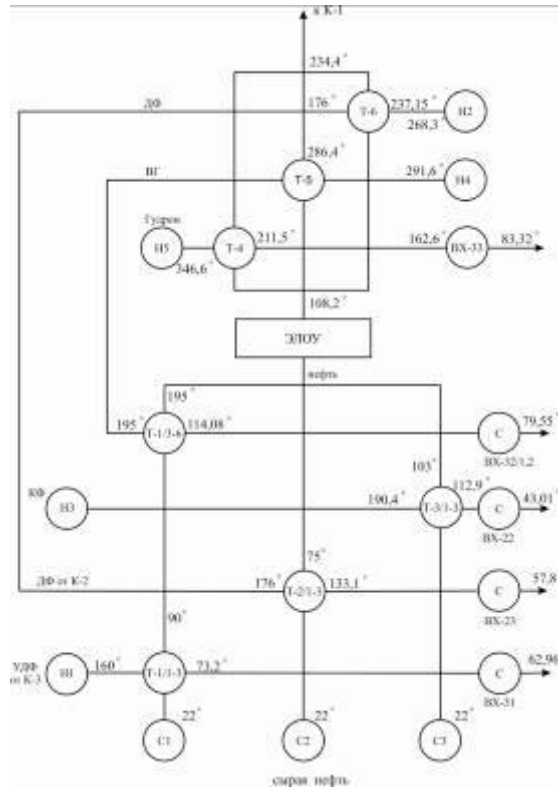
Для достижения поставленной цели необходимо было решить такие задачи:

- рассмотреть энергетические потоки при эксплуатации ЭЛОУ-АВТ;
- определить теплофизические параметры потоков установки;
- рассчитать тепловые мощности и потоковые теплоемкости горячих и холодных потоков в технологических теплообменниках;
- построить кривые горячих и холодных потоков установки;
- определить реальный температурный напор;
- рассчитать оптимальное значение температурного напора;
- построить сеточную диаграмму с разделением на пинче;
- произвести расчет новых теплообменных аппаратов выше и ниже пинча;
- выполнить расстановку рекуперативных теплообменников.

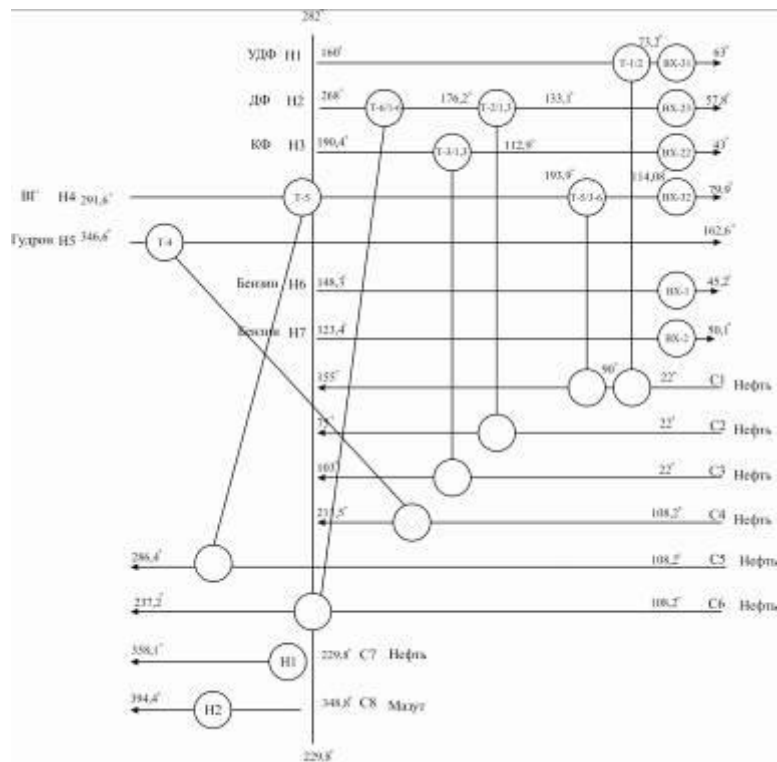
ЭЛОУ-АВТ предназначена для подготовки и первичной перегонки нефти с целью получения: сжиженного углеводородного газа (УГ), бензиновой фракции (БФ), керосиновой фракции (КФ), дизельной фракции (ДФ), вакуумного газойля (ВГ) и гудрона.

Был рассмотрен режим эксплуатации установки ЭЛОУ-АВТ с расходом сырой нефти 302,6 м³/ч. Значение температур и расходов были получены по показаниям АСУ ТП установки ЭЛОУ-АВТ. Традиционная схема тепловых потоков существующей схемы рекуперативного теплообмена представлена на рис. 1,а. Сеточная схема тепловых потоков существующей схемы рекуперативного теплообмена представлена на рис. 1,б. На этих рисунках символ «С» определяет холодильники, а символ «Н» – нагреватели.

Теплофизические параметры (T_S , T_T – температуры начала и конца потока, G – расход, C – теплоемкость, r – скрытая теплота фазового перехода, CP – потоковая теплоемкость, ΔH – изменение потокового теплосодержания) и потоковые данные технологических потоков представлены в таблице 1.



а



б

Рисунок 1 – Схемы тепловых потоков существующей схемы рекуперативного теплообмена:
а – традиционная; б – сеточная

Таблица 1 – Поточковые данные технологических потоков

№	Название потока	Тип	$T_S,$ °C	$T_T,$ °C	$G,$ кг/с	$C,$ кДж/кг·К	$r,$ кДж/кг	$CP,$ кВт/К	$\Delta H,$ кВт
1	УДФ Т-1/1,2	гор	160,0	73,2	20,0	1,99		39,8	3448,5
	УДФ ВХ-31	гор	73,2	63,0	20,0	1,76		35,2	362,3
2	ДФ Т-6/1-6	гор	286,3	176,0	28,3	2,53		71,6	7895,8
	ДФ Т-2/1-3	гор	176,0	133,1	28,3	2,17		61,4	2637,2
	ДФ ВХ-23/1,2	гор	137,6	58,0	28,3	1,90		36,8	2927,1
3	КФ Т-3/1-3	гор	190,4	112,9	29,9	2,18		64,9	5033,3
	КФ ВХ-22	гор	112,9	57,6	28,3	1,85		55,4	3060,8
4	ВГ Т-5/1-5	гор	291,6	195,0	20,8	2,52		52,4	5061,9
	ВГ Т-1/3-6	гор	195,0	114,1	20,8	2,12		44,2	3575,6
	ВГ ВХ-32/1,2	гор	114,1	79,6	20,8	1,87		38,9	1343,9
5	Гудрон Т-4	гор	346,6	162,6	22,8	2,48		56,4	10382,
	Гудрон ВХ-33/1,2	гор	162,7	83,3	6,2	1,95		12,1	960,6
6	Бензин ВХ-1/1,2+Х-1	гор	148,2	58,3	14,5	1,02		14,9	1337,2
		гор	58,3	58,3	14,5		180,63		180,6
		гор	58,3	45,2	14,5	1,58		24,4	320,9
7	Бензин Х-2 +Х-2+С-2	гор	123,4	66,4	13,9	0,92		12,8	729,7
		гор	66,4	66,4	13,9		494,3		494,3
		гор	66,4	50,1	13,9	3,15		43,6	14101,2
8	Нефть Т-1/1,2	хол	22,0	90,0	29,0	1,7		49,3	3352,4
	Нефть Т-1/3-6	хол	90,0	155,0	29,0	2,0		58,1	3774,9
9	Нефть Т-2/1-3	хол	22,0	75,0	28,1	1,66		46,7	2475,0
10	Нефть Т-3/1-3	хол	22,0	103,0	34,3	1,73		59,3	4800,5
11	Нефть Т-4	хол	108,2	211,5	42,7	2,17		92,7	9571,7
12	Нефть Т-5/1-5	хол	108,2	286,4	19,6	2,34		45,9	8182,0
13	Нефть Т-6/1-6	хол	108,2	237,2	28,3	2,23		63,0	8126,7
14	Нефть печь П-1/2+П-1/1	хол	229,8	358,1	67,1	4,03		270,4	34672,0
15	Мазут печь П-2	хол	348,8	394,4	163,0	4,12		671,7	30628,2

Пользуясь вычисленными значениями потоковых данных установки ЭЛОУ-АВТ, был проведен анализ горячих и холодных потоков методом пинч-анализа, который заключается в оптимизации рекуперативного теплообмена, т.е. в определении оптимального минимального температурного напора между горячими и холодными потоками [2].

Согласно этому методу были определены температурные интервалы горячих и холодных потоков [6], рассчитаны и построены кривые, характеризующие эти потоки (рис. 2). При этом минимальный температурный напор в самом узком месте между точ-

ками *a* и *б*, называемом пинчем, составил 52 °С. Стоит отметить, что на рис. 2 участок *I* – это тепло, которое передается окружающей среде ($Q_{\text{конд}}$), участок *II* – тепло, которое регенеративно передается в теплообменных аппаратах ($Q_{\text{рекуп}}$), участок *III* – тепло под- водимое к печам для переработки нефти ($Q_{\text{печи}}$).

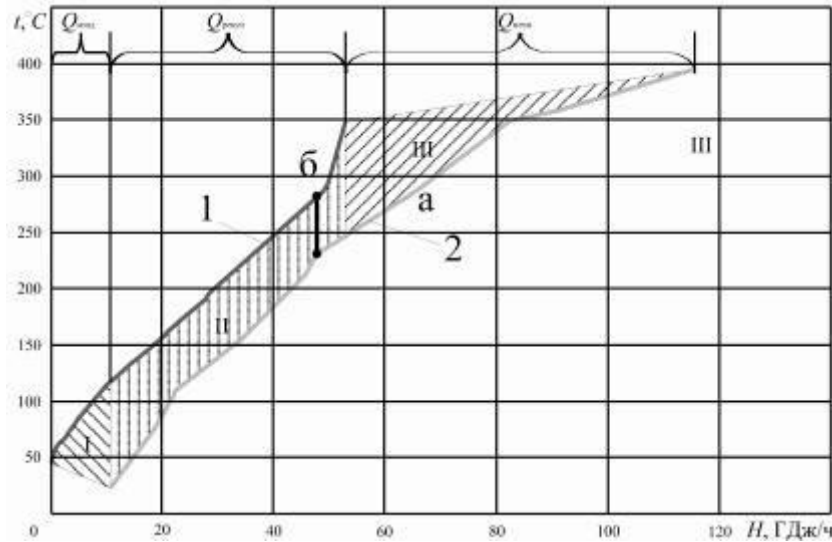


Рисунок 2 – Совместное расположение кривых горячих и холодных потоков:
1 – кривая горячих потоков; 2 – кривая холодных потоков

Оптимизация заключается в минимизации срока окупаемости капиталовложений. Уменьшение температурного напора приводит к уменьшению подведенного количества энергии, определяемого как разница по оси абсцисс между крайними верхними точками. Это сказывается в экономии топлива, используемого в печах. В то же время увеличивается количество энергии, которая рекуперирована внутри установки от горячих к холодным потокам. Для реализации этого необходимы дополнительные площади теплообмена, которые увеличиваются к тому же и из-за уменьшения температурного напора.

В [2] предлагается использовать оптимизацию сети по приведенным затратам:

$$\text{ПРЗ}_{\text{сети}} = \text{ПКЗ}_{\text{сети}} + E, \quad (1)$$

где $\text{ПКЗ}_{\text{сети}}$ – приведенные капитальные затраты на строительство сети

$$\text{ПКЗ}_{\text{сети}} = a \cdot \text{КЗт}, \quad (2)$$

где *a* – коэффициент амортизации и платы за кредит, определяемый как

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (3)$$

где *i* – годовая процентная ставка, принимается $i=0,1$; *n* – число лет кредита, принято равным 5.

По результатам расчёта $a = 0,2638$.

КЗт – капитальные затраты на теплообменники, у.е.:

$$\text{ПКЗ}_{\text{сети}} = N \cdot a \left(40000 + 500 \frac{A}{N} \right), \quad (4)$$

где N – число рекуперативных и воздушных теплообменников, шт.; E – стоимость затраченной энергии за год, у.е.:

$$E = Q_{\text{гор}} 95040 + Q_{\text{хол}} 9504, \quad (5)$$

где $Q_{\text{гор}}$ – горячие утилиты, МВт-год; $Q_{\text{хол}}$ – холодные утилиты, МВт-год.

Далее, с помощью алгоритма табличной задачи для различных значений Δt_{min} , вычисляются целевые энергетические значения для горячих и холодных утилит и стоимость энергоносителей, потребленных за год. Для этих же значений Δt_{min} определяется необходимая площадь теплообмена F , затем рассчитываем значения для $\text{ПКЗ}_{\text{сети}}$, складывается со значением годовой стоимости энергоносителей, и в итоге получаем общую приведенную стоимость проекта (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние минимального температурного напора на приведенные затраты

Δt_{min} , °С	$Q_{\text{гор}}$, МВт	$Q_{\text{хол}}$, МВт	F , м ²	$\text{ПКЗ}_{\text{сети}}$, 10 ³ у.е.	E , 10 ³ у.е.	$\text{ПРЗ}_{\text{сети}}$, 10 ³ у.е.
52	66,1	9,59	5229,5	0,88	6,37	7,249
50	65,6	9,57	5401,4	0,90	6,32	7,224
40	63,4	6,8	6305,5	1,02	6,09	7,112
34	62,0	5,3	7117,2	1,13	5,94	7,070
30	61,0	4,4	7835,3	1,22	5,84	7,065
28	60,6	3,9	8276,8	1,28	5,79	7,074
26	60,1	3,4	8782,3	1,35	5,74	7,091
20	58,8	2,1	10949,2	1,63	5,61	7,241

Согласно полученным результатам (табл. 2) оптимальным температурным напором является значение 28–34 °С. С помощью алгоритма табличной задачи Линнхоффа Б. [2], было определено и принято в качестве оптимального для дальнейших расчетов значение $\Delta t_{\text{min}} = 30$ °С.

После определения оптимального пинча следующей задачей является расстановка теплообменников, которые бы обеспечивали полученный нагрев холодных потоков горячими. Правила и алгоритм построения изложены в [2]. Сеточная диаграмма технологических потоков с обозначением пинча изображена на рис. 3. Под теплообменниками на рис.3 указаны тепловые нагрузки.

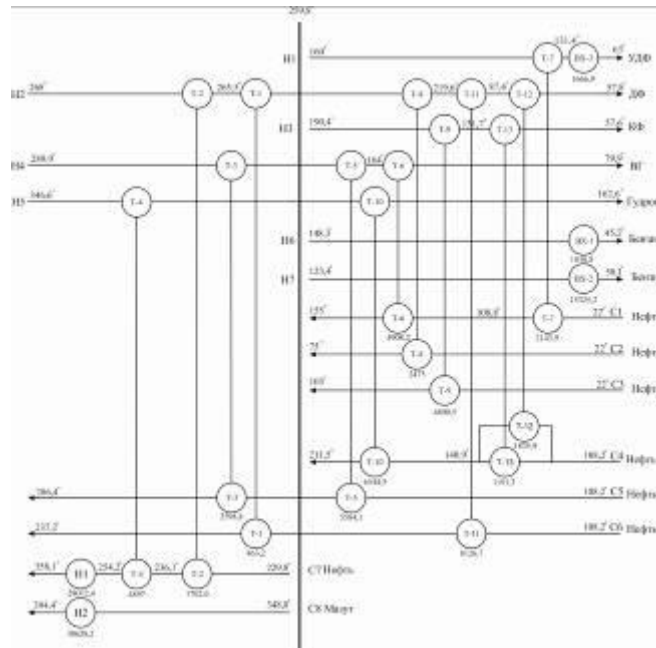


Рисунок 3 – Расстановка теплообменников на сетчатой диаграмме

Количество теплоты, переданное горячим потоком, определяется по формуле:

$$Q_H = CP_H (t_{H1} - t_{H2}), \text{ кВт}, \quad (6)$$

где CP_H – потоковая теплоемкость горячего потока.

Разность температур холодного потока определяется так

$$\Delta t_C = \frac{Q_C}{CP_C}, \text{ }^\circ\text{C}, \quad (7)$$

где Q_C – количество теплоты, переданное холодным потоком, принимается равным Q_H в пределах одного теплообменного аппарата; CP_C – потоковая теплоемкость холодного потока.

Таким образом, температура холодного потока после теплообменника, который рассматривается, равна

$$t_{C2} = t_{C1} + \Delta t_C, \text{ }^\circ\text{C}. \quad (8)$$

Аналогично определяются температуры горячих потоков после теплообменников.

Экономический эффект от применения предложенной схемы представлен в табл. 3.

Таблица 3 – Определение экономического эффекта от интегрированного процесса

	$\Delta t_{\min}, \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_{\text{гор}}, \text{ МВт}$	$Q_{\text{хол}}, \text{ МВт}$	$Q_{\text{рек}}, \text{ МВт}$	$E, 10^3 \text{ у.е.}$
Реальный процесс	52	66,1	9,59	32,3	6,37
Интегрированный процесс	30	61,0	4,4	41,2	5,84
Экономия		5,1	5,2		0,53

Литература

1. Постанова Кабінету Міністрів України № 243 від 01.03.2010 №243 «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010–2015 роки» // Офіційний вісник України, 2010 – № 16.
2. Смит Р., Клемеш И., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. – Харьков: НТУУ «ХПИ». – 2000. – 458 с.
3. Kemp I.C. Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, 2nd edition. – 2006. – 409 p.
4. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., Ульев Л.М., Мельниковская Л.А., Зулин Б.Д. Термодинамически обоснованный энергосберегающий потенциал установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ и др. // Интегровані технології та енергозбереження. Харьков, 2010. – №2. – с. 3–13.
5. Ульев Л.М., Мельниковская Л.А. Определение полезной нагрузки трубчатых печей с помощью учета тепловых потерь в системе теплообмена на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока / Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская // Интегровані технології та енергозбереження. Харьков, 2011. – №3. – с. 15–23.
6. Максимов М.В., Кривда В.И. Определение минимального температурного напора между холодными и горячими потоками для рекуперативных теплообменников ЭЛОУ-АВТ/ Холодильна техніка і технологія. – 2011. – №3(131). – с. 56–62.

УДК 665.63

Максимов М.В., Кривда В.І.

**РЕКОНСТРУКЦІЯ УСТАНОВКИ ЕЛОУ-АВТ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ
ХОЛОДНИХ ТА ГАРЯЧИХ ПОТОКІВ**

У статті розглянуто застосування методу пінч-анализу з метою визначення оптимальної схеми рекуперативного теплообміну установки ЕЛОУ-АВТ. Виявлено вплив мінімального температурного напору на приведені витрати шляхом проведених техніко-економічних розрахунків. Визначено оптимальний температурний напір, який у порівнянні з реально існуючим зменшився майже вдвічі.

Maksimov M.V., Kryvda V.I.

**RECONSTRUCTION OF INSTALLATION ELOU-AVT ON THE BASIS OF
OPTIMIZATION OF COLD AND HOT STREAMS**

In article application of a method of the pinch-analysis for the purpose of definition of the optimum scheme of recuperative heat exchange of installation of the ELOU-AVT is considered influence of the minimum temperature pressure on reduced rates by the spent technical and economic calculations is revealed. The optimum temperature pressure which in comparison with real-life decreased almost twice is defined.