

УДК 665.6

**ПИНЧ-АНАЛИЗ СХЕМЫ УСТАНОВКИ
ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ**

PINCH ANALYSIS SCHEME OF PRIMARY OIL PROCESSING

**Хидиятуллин А. С., Гареева И. Ю., Руднев Н. А.,
Абызгильдин А. Ю.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

A. S. Hidiyatullin, I. Yu. Gareeva, N. A. Rudnev, A. Yu. Abyzgildin

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: infair@yandex.ru

Аннотация. С применением пинч-анализа рассмотрена схема установки ЭЛОУ АТ-3 с производительностью 3млн т/год. В ходе работы была предложена новая схема обвязки теплообменников, которая по сравнению с существующей является более оптимальной. При переходе на предлагаемую схему теплообмена увеличилась температура подачи сырья в печь с 240 до 250 °С, благодаря чему уменьшился расход топлива в печи на 309 кг/ч, в связи с чем уменьшаются затраты на подогрев топлива.

Наиболее существенную роль теплообмен играет на установках АТ и АВТ, блоки теплообмена которых из-за большого количества теплоносителей представляют собой наиболее сложные системы.

Пинч-анализ является одним из лучших методов для анализа систем теплообмена химической и нефтехимической отрасли, и основан на термодинамическом анализе системы технологических потоков.

Для действующих предприятий нефтепереработки и нефтехимии, большинство из которых запущены в эксплуатацию в 60-70-х гг. прошлого столетия, применение пинч-технологии позволяет достичь снижения потребления энергоресурсов и, соответственно, финансовых платежей за них, на 30-50%, а в ряде случаев по отдельным установкам до 70%.

Программа, реализующая расчёт по методике пинч-анализа позволяет на основе данных произвести вычисление для построения композитных кривых горячих и холодных потоков. Построения показывают возможность увеличения максимальной теплоты рекуперации. Это позволяет оптимизировать потоки в теплообменной аппаратуре и выбрать наиболее эффективную схему теплообмена.

Abstract. Using pinch analysis considered the scheme elou-at-3 with a capacity of 3 million tons/year. During the work of the new scheme was proposed strapping heat exchangers, which when compared with the existing is better. When moving to the proposed scheme of heat increased raw materials supply temperature in oven with 240 to 250 °C, allowing decreased fuel consumption in a furnace at 309 kg/h, and therefore reduced the cost of heating fuel.

The most significant role of heat exchange units AT and plays AVT, blocks heat transfer which due to the large amount of heat is the most complex systems.

Pinch analysis is one of the best methods for analysis of heat transfer systems in the chemical and petrochemical industry, and is based on thermal analysis system process flows.

For refining and petrochemical enterprises, most of which launched in 60-70 last century, the use of pinch technology allows achieving reduction of energy consumption and, consequently, financial payments behind them, 30-50%, and in some cases on separate installations to 70%.

The program that implements the calculation by the method of Pinch analysis allows you to make data-based computation to build composite curves of hot and cold streams.

Buildings show the possibility of increasing the maximum heat recovery. This enables you to optimize the heat flows in the hardware and choose the most efficient schemes of heat exchange.

Ключевые слова: пинч-анализ, теплообмен, теплота рекуперации, обвязка теплообменников.

Key words: pinch analysis, heat transfer, heat recovery heat exchanger piping.

В связи с постоянным удорожанием энергоносителей, связанным с грядущим полным их исчерпанием, не вызывает сомнения необходимость рационального использования энергоресурсов, особенно в столь энергоемкой отрасли, как химическая и нефтеперерабатывающая промышленность.

Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность являются одним из основных крупных потребителей энергоресурсов. В отрасли в виде топлива, тепловой и электрической энергии расходуется около 13% всей перерабатываемой нефти, причем доля топлива составляет почти 40%, тепловой энергии – 46%, электроэнергии – 14% [1]. Поэтому энергосбережение в отрасли имеет важнейшее значение.

При проведении процессов нефтепереработки при повышенных температурах особенно высокие требования предъявляются, как правило, к системам теплообмена, позволяющим регенерировать тепло, затраченное на достижение необходимых температур, и свести к минимуму затраты на охлаждение продуктов, направляемых на хранение. Рациональная обвязка многих систем теплообмена может существенно интенсифицировать их работу [2].

Наиболее существенную роль теплообмен играет на установках АТ и АВТ, блоки теплообмена которых из-за большого количества теплоносителей представляют собой наиболее сложные системы.

Пинч-анализ является одним из лучших методов для анализа систем теплообмена химической и нефтехимической отрасли, и основан на термодинамическом анализе системы технологических потоков. Для экономической оптимизации использует немонотонную зависимость общей годовой стоимости эксплуатации проекта от наименьшего температурного напора на теплообменном оборудовании.

Применение пинч-анализа позволяет добиться существенной финансовой экономии за счет минимизации использования внешних энергоносителей, как подводящих энергию, так и отводящих, путем максимального применения рекуперации теплоты в рамках рассматриваемой энерготехнологической системы.

Для действующих предприятий нефтепереработки и нефтехимии, большинство из которых запущены в эксплуатацию в 60-70-х гг. прошлого столетия, применение пинч-технологии позволяет достичь снижения потребления энергоресурсов и, соответственно, финансовых платежей за них, на 30-50%, а в ряде случаев по отдельным установкам до 70% [3].

Для расчета существующей схемы теплообмена этого был применен метод математического моделирования процесса. В качестве инструмента математического моделирования была выбрана система UnisimDesign R400 v.4.0.0. Полученная математическая модель помимо того, что является расчетной и содержит в себе всю информацию о процессе, также является отправной точкой для следующего этапа работы, а именно, синтеза новой более выгодной системы теплообмена [4]. В результате расчёта составлена таблица потоковых данных, которая является цифровым образом рассматриваемого процесса первичной переработки нефти.

В таблицах 1 и 2 собраны все необходимые технологические характеристики для расчета энергосберегающего потенциала установки.

Таблица 1. Перечень потоков установки ЭЛОУ АВТ – 6

Поток	$T_{нач}, ^\circ C$	$T_{кон}, ^\circ C$	Нагрузка, Дж/ч	Массовый расход, кг/ч
1	40,1	116,8	22845039,93	112324,72
2	333,1	171,2	52835496,27	125008,49
3	333,1	113,5	56797171,65	103006,86
4	341,7	399,9	119670389,20	451561,89
5	154,6	49,5	14685251,08	59995,50
6	149,4	83,9	11060031,62	37935,46
7	20	84,5	11060031,62	39400,00
8	130,9	40,0	104043851,80	180587,21
9	211,6	98,9	42723816,27	155000,91
10	144,1	275,1	277828618,10	789135,97
11	55,3	33,0	17614492,94	49568,89
12	246,2	146,9	29289986,20	120006,25
13	160,5	39,2	32064353,93	105342,59
14	315,9	170,1	27207424,03	69980,54
15	19,9	150,7	215911951,60	787671,25
16	266,8	120,1	59409639,95	159978,29
17	289,6	56,0	32228595,01	56992,04
18	378,4	197,2	98624281,10	203715,37
19	235,1	148,1	19534430,29	87995,19
20	180,5	107,1	13986912,92	77999,64
21	176,7	55,0	93771260,30	349964,27
22	273,4	349,9	203941771,4	710085,87
23	141,5	160,5	27207424,03	176055,83

На первом этапе для оценки максимально возможной теплоты рекуперации построены композитные кривые горячих и холодных потоков на температурно-энтальпийной диаграмме.

Существует множество программ созданных для пинч-анализа, но в данном случае по методике, описанной в источниках [5,6], с использованием основных принципов пинч-анализа, в среде программирования Pascal написана собственная программа расчёта максимальной теплоты рекуперации. По данным расчёта программа строит композитные кривые для холодных и горячих потоков, которые позволяют выбрать наилучшую схему теплообмена. Блок схема алгоритма расчёта приведена на рисунке 1.

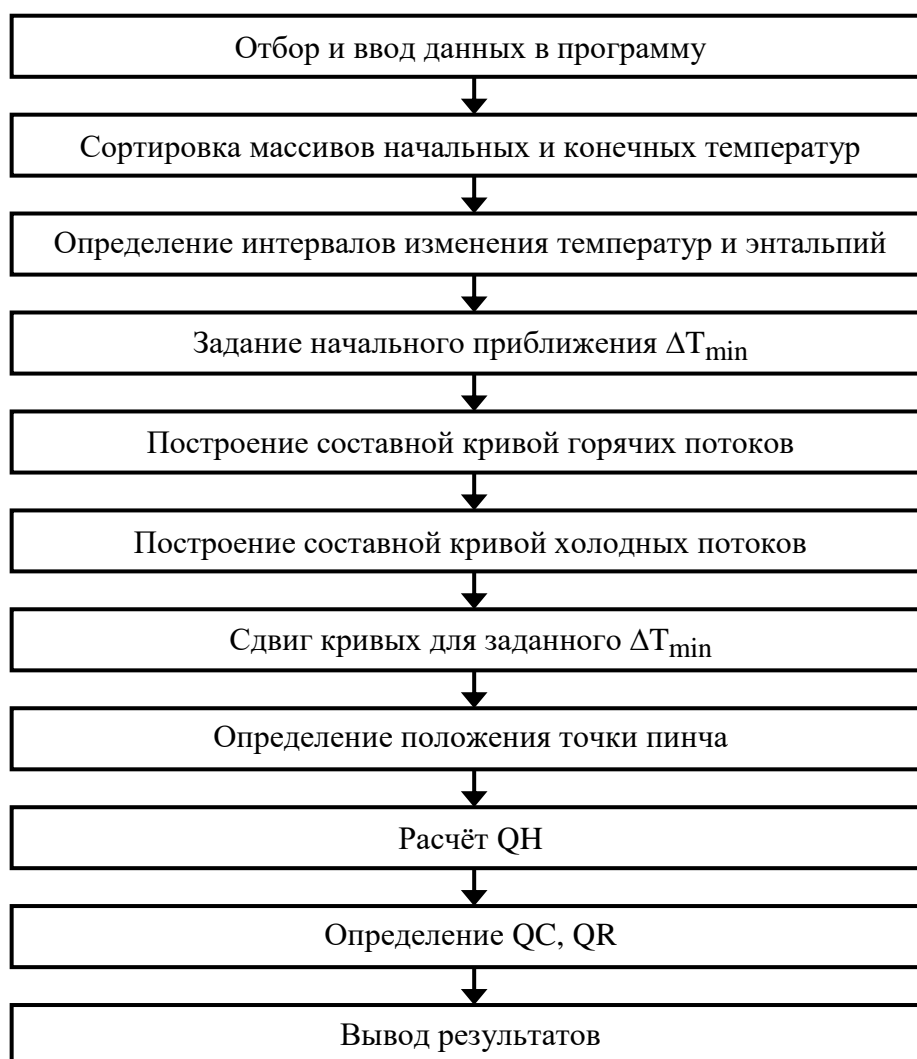


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма программы расчёта максимальной теплоты рекуперации

Композитные кривые построенные для установки ЭЛОУ АВТ-6, представлены на рисунке 2.

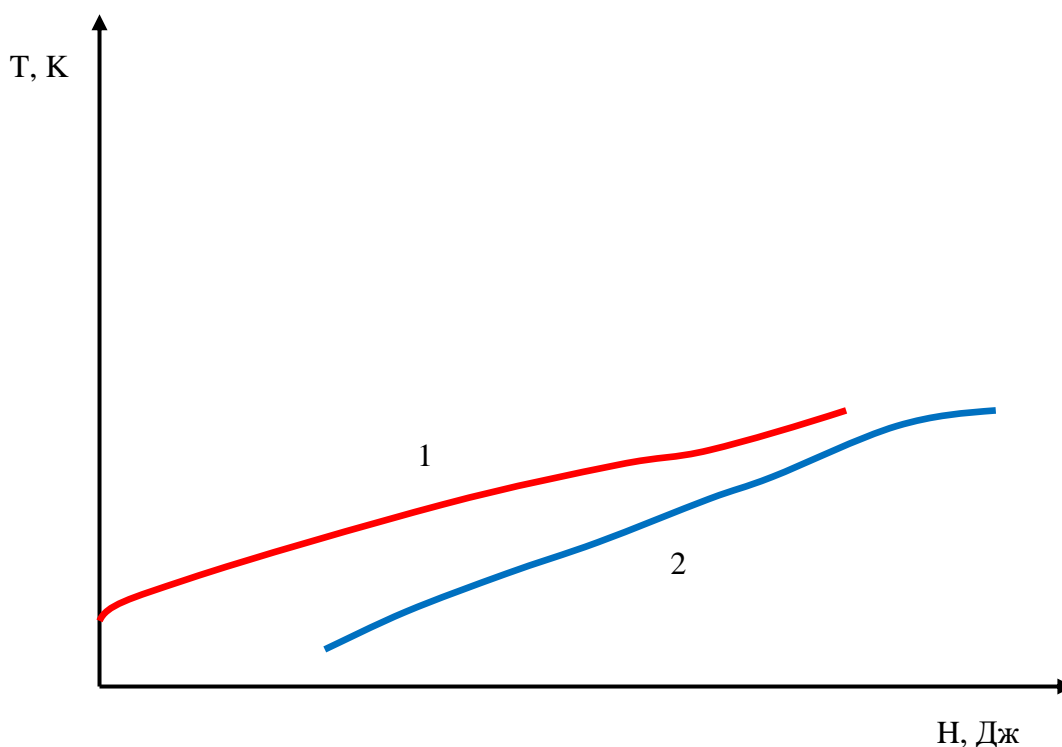


Рисунок 2. Композитные кривые горячих и холодных потоков:
 1 – составная кривая горячих потоков;
 2 – составная кривая холодных потоков

Область перекрытия кривых вдоль оси абсцисс определяет количество теплоты, которое может быть передано вертикально от горячих потоков, содержащихся в этой части горячей составной кривой, холодным потокам, которые содержит холодная составная кривая. В данном случае для схемы установки ЭЛОУ АВТ-6 $\Delta t_{\min} = 10,5 \text{ }^\circ\text{C}$, рекуперация теплоты потоков составляет $Q_{\text{рек}} = 6,13 \cdot 10^8 \text{ Дж}$. Анализ схемы показал что существующая схема установки является оптимальной.

Поэтому для анализа далее будем рассматривать схему установки ЭЛОУ АТ-3. Результаты моделирования и анализа схемы этой установки по потокам, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Перечень потоков установки ЭЛОУ-АТ 3 по существующей схеме

Поток	Тип	$T_{нач}, ^\circ C$	$T_{кон}, ^\circ C$	Нагрузка, Дж/ч	Массовый расход, кг/ч
Нефть до ЭЛОУ	хол	0	85	$7,607 \cdot 10^7$	462500
Нефть после ЭЛОУ	хол	80	215	$1,625 \cdot 10^8$	462500
Обезиненная нефть из К-1	хол	214	365	$2,158 \cdot 10^8$	403300
II боковой погон из К-2	хол	196	213	$2,219 \cdot 10^6$	25408
Мазут	гор	347	90	$1,208 \cdot 10^8$	188140
Керосин	гор	206	40	$6,848 \cdot 10^9$	37507
ДТ легкое	гор	250	155	$1,227 \cdot 10^7$	51582
I ЦО колонны К-2	гор	178	98	$3,136 \cdot 10^7$	165244
II ЦО колонны К-2	гор	234	218	$2,219 \cdot 10^6$	50000
II ЦО в Т-9	гор	229	164	$2,901 \cdot 10^7$	177850
III ЦО + IV БП	гор	251	193	$4,208 \cdot 10^7$	277115
IV БП	гор	193	64	$2,453 \cdot 10^7$	82515

Были построены композитные кривые, описывающие теплообмен между горячими и холодными потоками по существующей схеме, представленной на рисунке 3.

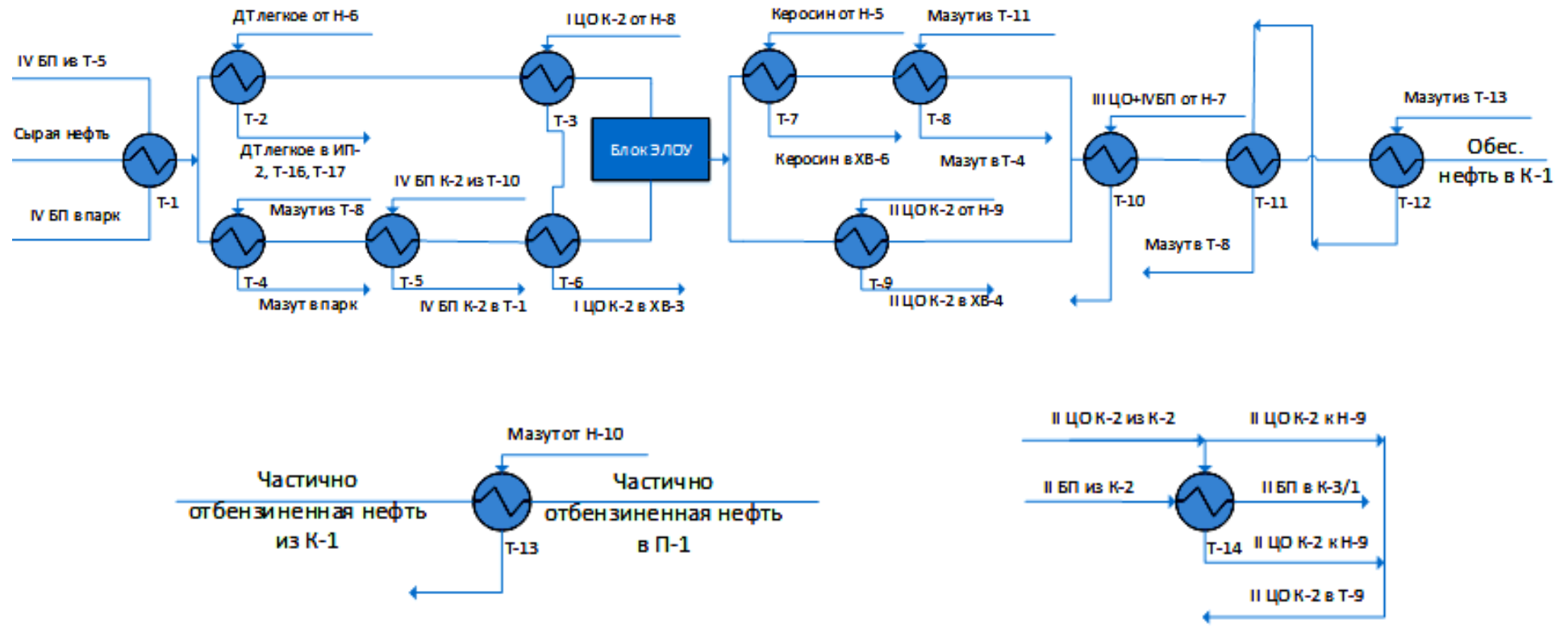


Рисунок 3. Существующая схема теплообмена на установке ЭЛОУ-АТ 3

Графическое изображение композитных кривых, представлено на рисунке 4.

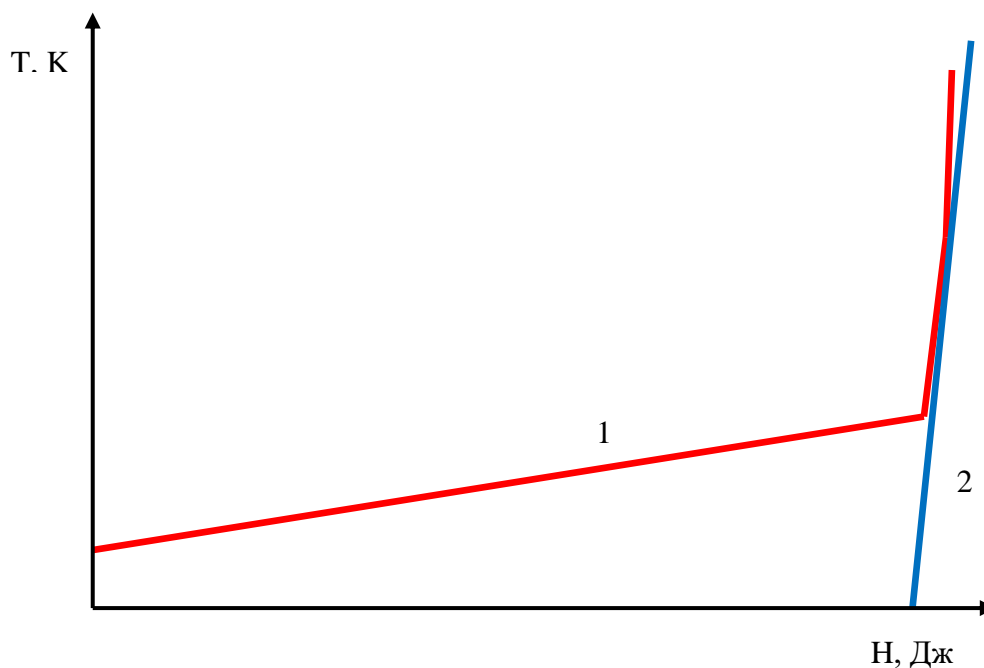


Рисунок 4. Композитные кривые горячих и холодных потоков:
 1 – составная кривая горячих потоков;
 2 – составная кривая холодных потоков

Область перекрытия кривых вдоль оси абсцисс определяет количество теплоты, которое может быть передано вертикально от горячих потоков, содержащихся в этой части горячей составной кривой, холодным потокам, которые содержит холодная составная кривая.

В данном случае для $\Delta t_{\min} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ рекуперация количества тепла составляет $Q_{\text{рек}} = 3,08 \cdot 10^8 \text{ Дж}$, точка пинча – $t_{\text{гор}} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{хол}} = 230 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

По результатам построения ясно, что есть возможность уменьшения минимального сближения температур и за счет этого появляется возможность увеличить максимальную теплоту рекуперации. Таким образом, можно выбрать более оптимальную схему теплообмена.

Таким образом, комплексная оценка схемы подогрева нефти на установке ЭЛОУ – АТ показывает, что:

- горячих потоков, имеющихся на установке, хватает для того чтобы полностью нагреть холодные потоки;

- имеющаяся обвязка теплообменников не позволяет полностью использовать тепло горячих потоков;

В ходе анализа была выбрана одна из наиболее оптимальных схем теплообмена, которая представлена на рисунке 5.

Пинч-анализ новой схемы приводит к получению иных значений Δt_{\min} и $Q_{\text{рек}}$.

Данные по потокам и теплообменникам по новой схеме сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Перечень потоков в теплообменниках по новой схеме

№	Горячий поток	$T_{\text{вх}},$ °C	$T_{\text{вых}},$ °C	Холодный поток	$T_{\text{вх}},$ °C	$T_{\text{вых}},$ °C	Площадь, м ²	Т/О
1	Мазут	347	266	Отбенз. нефть	214	250	335	Т-17
2	Мазут	266	192	Обесол. нефть	190	215	800	Т-8
3	IVБП+ШЦО	251	193	Обесол. нефть	160	190	550	Т-16
4	Мазут	192	160	Обесол. нефть	150	160	560	Т-10
5	ДТ легкое	250	155	Обесол. нефть	138	150	270	Т-7,13
6	Мазут	160	138	Обесол. нефть	120	138	640	Т-12,3
7	I ЦО К-2	178	130	Обесол. нефть	80	120	400	Т-11
8	I ЦО К-2	130	98	Сырая нефть	61	85	265	Т-6
9	Керосин	206	138	Сырая нефть	71	85	63	Т-2
10	Керосин	138	123	Сырая нефть	29	61	133	Т-4
11	Мазут	138	90	Сырая нефть	29	71	350	Т-15
12	II ЦО К-2	229	164	Обесол. нефть	80	137	417	Т-9
13	II ЦО К-2	234	218	II БП К-2	196	213	850	Т-14
14	IV БП К-2	193	64	Сырая нефть	0	29	270	Т-1,5

В данном случае для $\Delta t_{\min} = 10$ °C количество рекуперированного тепла составляет $Q_{\text{рек}} = 3,19 \cdot 10^8$ Дж., точка пинча – $t_{\text{гор}} = 250$ °C , $t_{\text{хол}} = 240$ °C. Таким образом, рекуперация теплоты по сравнению с существующей схемой теплообмена увеличится на $0,11 \cdot 10^8$ Дж. При этом температура нефти на выходе из системы теплообменников повышается с 240 °C по существующей схеме до 250 °C – по предлагаемой, что позволяет или уменьшить расход топлива для нагрева нефти или увеличить производительность печи.

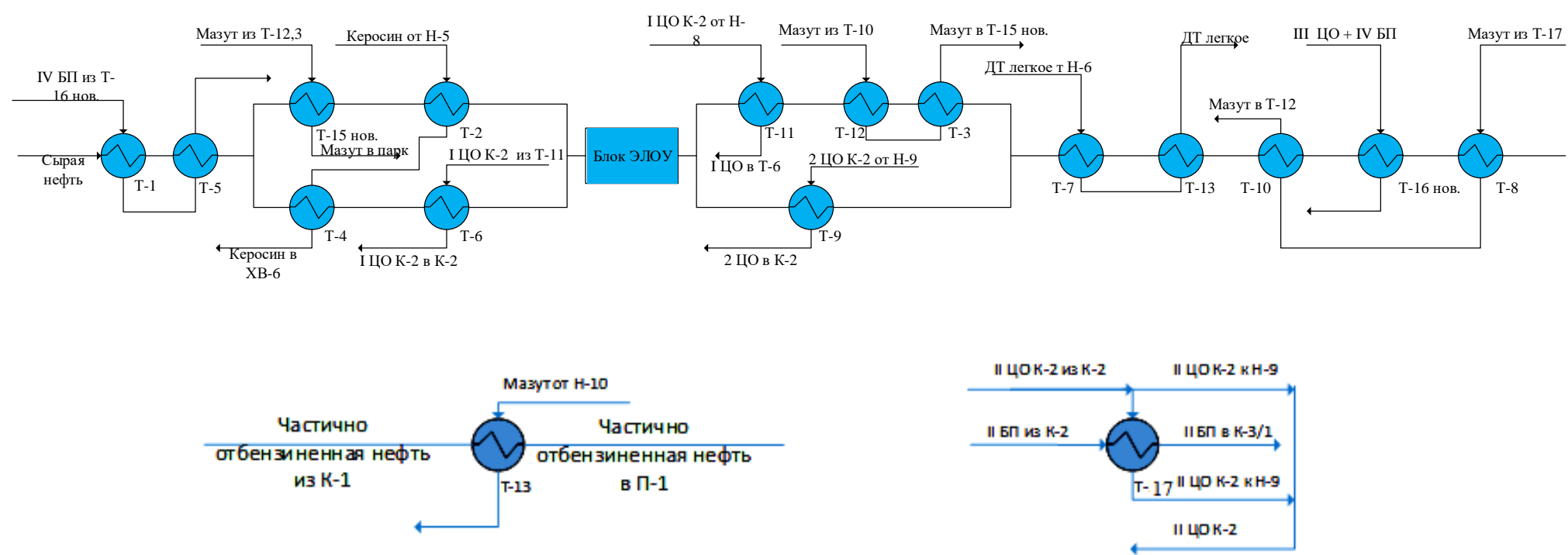


Рисунок 5. Предлагаемая схема теплообмена на установке ЭЛОУ-АТ 3

Выводы

Программа, реализующая расчёт по методике пинч-анализа позволяет на основе данных произвести вычисление для построения композитных кривых горячих и холодных потоков. Построения показывают возможность увеличения максимальной теплоты рекуперации. Это позволяет оптимизировать потоки в теплообменной аппаратуре и выбрать наиболее эффективную схему теплообмена.

Список используемых источников

1 Системы теплообмена установок АТ и АВТ/ С. Н. Хаджиев и др. // Нефтяник. 1973. № 12. С. 20-21.

2 Пути совершенствования производственных процессов нефтепереработки / А. П. Мартынов, А. Ю. Абызгильдин, Л. И. Ванчухина, Я. С. Амиров, Д. А. Салимоненко, Р. Р. Бакиров // Башкирский химический журнал. 1997. Т. 4, №1. С.72-77.

3 Ульев Л. М., Ильченко М. В. Пинч анализ блока атмосферной перегонки нефти на установке типа АВТ // Вісник НТУ «ХП». 2013. № 9. С. 17.

4 Умергалин Т. У., Шамова Н. А., Гареева И. Ю. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учеб.-метод. пособие к выполнению лабораторных работ. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014.

5 Основы интеграции тепловых процессов/ Клемеш Й., Товажнянский Л. Л., Капустенко П. А., Ульев Л. М. Х.: ХГПУ, 2000. 457 с.

6 Абызгильдин А. Ю., Руднев Н. А., Денисов С. В. Использование метода графических моделей при построении программы расчёта и оптимизации ХТС: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. семинара. Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. УГНТУ, 2001. С. 229-239.

References

- 1 Sistemy teploobmena ustanovok AT i AVT/ S. N. Hadzhiev i dr. // Neftyanik. 1973. № 12. S. 20-21. [in Russian].
- 2 Puti sovershenstvovaniya proizvodstvennyh processov neftepererabotki / A. P. Martynov, A. Yu. Abyzgil'din, L. I. Vanchuhina, Ya. S. Amirov, D. A. Salimonenko, R. R. Bakirov // Bashkirskii himicheskii zhurnal. 1997. T. 4, №1. S. 72-77. [in Russian].
- 3 Ul'ev L. M., Il'chenko M. V. Pinch analiz bloka atmosfernoii peregonki nefiti na ustanovke tipa AVT // Visnik NTU «HIII». 2013. № 9. S. 17.
- 4 Umergalin T. U., Shamova N. A., Gareeva I. Yu. Matematicheskoe modelirovanie himiko-tehnologicheskikh processov: ucheb.-metod. posobie k vypolneniyu laboratornykh rabot. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2014. [in Russian].
- 5 Osnovy integracii teplovykh processov/ Klemesh, Tovazhnyanskii L. L., Kapustenko P. A., Ul'ev L. M. Kh.: HGPU, 2000. 457 s. [in Russian].
- 6 Abyzgil'din A. Yu., Rudnev N. A., Denisov S. V. Ispol'zovanie metoda graficheskikh modelei pri postroenii programmy rascheta i optimizacii HTS: sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch.-prakt. seminar. Rossiiskii himiko-tehnologicheskii universitet imeni D. I. Mendeleeva. UGNTU, 2001. S. 229-239. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Хидиятуллин А. С., магистр гр. МТК-13-01, ФГБОУ ВО УГНТУ,
г. Уфа, Российская Федерация

A. S. Hidiyatullin, Master Student of MTK-13-01 Group FSBEI HE
USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: roxinx@mail.ru

Гареева И. Ю., доцент кафедры «Химическая кибернетика» ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

I. Yu. Gareeva, Associate Professor of the Chair «Chemical Cybernetics» FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: inna_gareeva@mail.ru

Руднев Н. А., канд. техн. наук, доцент кафедры «Химическая кибернетика» ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

N. A. Rudnev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Chemical Cybernetics» FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: ngb2008@mail.ru

Абызгильдин А. Ю., д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Инженерная графика» ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A. Yu. Abyzgildin, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Chair «Engineering Graphics» FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: infair@yandex.ru