



## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДЕВОНСКОЙ НЕФТИ НА УСТАНОВКЕ АВТ 3

Ульев Л.М., Химич О.И., Валенова О.Ю.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина

**Реферат** – В работе выполнен пинч-анализ установки первичной переработки девонской нефти АВТ 3, определены потоки, которые будут использованы при тепловой интеграции процесса. Анализ существующего процесса, показал, что в настоящее время в теплообменной системе установки значительная часть тепловой энергии передается через пинч. С помощью методов пинч-диагностики определены целевые энергетические значения для проекта реконструкции установки. С помощью методов пинч-проектирования синтезирована технологическая схема проекта реконструкции процесса, в котором полезная нагрузка снижается более чем на 65% от существующей сейчас.

**Ключевые слова:** пинч-анализ, реконструкция, энергоэффективность, первичная нефтепереработка

## ENERGY SAVING POTENTIAL AND PROCESS INTEGRATION OF PRIMARY PROCESSING OF DEVONIAN OIL AT AVT 3

Ulyev Leonid, Khimich Olha, Valenova Oksana

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine

**Abstract** - This paper examined the installation process Devonian oil oil AVT 3, defined flows that will be used during the thermal integration process. Analysis of schemes that exist, showed that at present in heat-exchange system install much of the heat energy is transferred between the coolant in a cross heat exchange and heat transfer through the pinch. For schemes that exist and integrated circuits built mesh diagrams and calculations of heat consumption by means of which was determined by the pinch point and the optimum parameters of the best schemes.

**Keywords:** pinch- analysis, retrofit, energy efficiency, crude oil

## POTENȚIALUL DE STOCARE A ENERGIEI ȘI INTEGRAREA PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIMARĂ A PETROLULUI DEVONIAN PE INSTALAȚIA AVT 3

Uliev Leonid, Himici Olga, Valenova Oksana

Universitatea Tehnică Națională "Institutul Politehnic din Harkov", Ucraina

**Referat** – În lucrare este efectuată analiza-pinci a instalației de prelucrare a petrolului devonian AVT 3, sunt determinate fluxurile care vor fi utilizate la integrarea termică a procesului. Analiza procesului existent a arătat, că actualmente în sistemul schimbului de căldură a instalației o parte considerabilă de energie termică se transmite prin pinci. Cu ajutorul metodelor de diagnoză pinci sunt determinate valorile energetice scop pentru proiectul de renovare a instalației. Cu ajutorul metodelor pinci de proiectare s-a sintetizat schema tehnologică a proiectului de renovare a procesului, în care sarcina utilă se reduce mai mult de 65% de la cea existentă acum.

**Cuvinte cheie:** pinci-analiza, renovare- eficiență energetică, rafinare primară a petrolului

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ.

Украина располагает масштабным недоиспользуемым потенциалом энергосбережения, который по способности решать проблему обеспечения экономического роста страны сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов. Энергоемкость украинской экономики существенно превышает в расчете по паритету покупательной способности аналогичный показатель в США, в Японии и разви-

тых странах Европейского Союза. Для действующих предприятий нефтепереработки и нефтехимии, большинство из которых запущены в эксплуатацию в 60-70-х годах 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%. Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны. По оценке, до 2015 года темпы

снижения энергоемкости при отсутствии скоординированной государственной политики по энергоэффективности могут резко замедлиться. Это может привести к еще более динамичному росту спроса на энергоресурсы внутри страны. Запасов нефти и газа в Украине не достаточно, а увеличение объемов добычи углеводородов и развитие транспортной инфраструктуры требуют значительных инвестиций [1].

Существует два пути решения возникшей проблемы:

- первый - крайне капиталоемкий путь наращивания добычи нефти и газа и строительства новых объектов электрогенерации;

- второй - существенно менее затратный, связанный с обеспечением экономического роста в стране за счет повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Следует отметить, что на практике необходим симбиоз первого и второго вариантов с несомненным приоритетом энергоэффективности. Пути и методы использования возможностей энергосбережения и снижения техногенной нагрузки известны, и в последние два десятилетия получили широкое распространение в индустриально развитых странах [2]. Прежде всего, это методы интеграции процессов и, в частности, метод пинч-анализа. Пинч-анализ используется для определения целевых значений стоимости энергии, которая потребляется химико-технологической системой (ХТС) и необходимых инвестиций в создание теплообменной системы, которая и выполняет энергосберегающие функции.

## ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕГОНКИ НЕФТИ.

Установки первичной переработки нефти составляют основу всех НПЗ (нефтеперерабатывающих заводов). На них производятся практически все компоненты топлив, смазочных масел, сырья, для вторичных процессов и для нефтехимических производств [3,4]. От работы АВТ (атмосферно-вакуумной трубчатки) зависят выход и качество компонентов топлив и смазочных масел, а также технико-экономический показатель последующих процессов переработки нефтяного сырья. Проблемам повышения эффективности работы и интенсификации установок АВТ всегда уделяется особое внимание.

Функциональной единицей НПЗ является технологическая установка – производственный объект с набором оборудования, что позволяет осуществить полный цикл того или другого технологического процесса [5,6]. Сырая нефть содержит соли, которые вызывают сильную коррозию технологического оборудования. Для их удаления нефть, которая поступает из сырьевых емкостей, смешивается с водой, в которой соли растворяются, и поступает на ЭЛОУ – электрообессоливающую установку. Процесс обессоливания осуществляется в электродегидрататорах – цилиндрических аппаратах со смонтированными внутри электродами [7]. Под воздействием тока высокого напряжения (25 кВт и больше), смесь воды и нефти (эмульсия) разрушается, вода собирается внизу аппарата и откачивается.

Обессоленная нефть из ЭЛОУ поступает на установку атмосферно-вакуумной перегонки нефти, которая на НПЗ обозначается аббревиатурой АВТ, – атмосферно-вакуумная трубчатка. Такое название обусловлено тем, что нагрев сырья перед разделением его на фракции, осуществляется в змеевиках трубчатых печей за счет тепла сжигания топлива и тепла дымовых газов. АВТ разделена на три блока – атмосферный, вакуумный и блок стабилизации бензина.

Атмосферная перегонка предназначена для отбора светлых нефтяных фракций – бензиновой, газовой и дизельной, таких, которые выкипают до 360 °С, потенциальный выход которых составляет 45-60 % на нефть. Остаток атмосферной перегонки – мазут.

Вакуумная перегонка предназначена для отбора из мазута масляных дистиллятов на НПЗ топливно-масляного профиля, или широкой масляной фракции (вакуумного газойля), на НПЗ топливного профиля. Остатком вакуумной перегонки является гудрон.

Обычно в бензиновой фракции, получаемой на АВТ содержатся растворенные газы. Поэтому ее поддают физической стабилизации в ректификационной колонне. Качество стабильного бензина контролируют по содержанию в нем суммы изобутана и н-бутана.

Рассматриваемая установка первичной переработки нефти достаточно сложна (рис.1), потому для интеграции было взято лишь её часть. А именно: схема рекуперации тепловой энергии, подогрев нефти после электродегидрататоров, подогрев низа основной колонны К-2 и охлаждение паров колонн К-1, К-2.

## ЭКСТРАКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.

В данной работе анализируется энергопотребление на установке первичной переработки Девонской нефти АВТ 3. Сбор данных, необходимых для расчета материального и теплового балансов, осуществлялся путем прямых измерений температур и расходов потоков на оборудовании с помощью расходомеров, стационарных и переносных термометров. В ходе такого обследования установки были получены данные, приведенные ниже. Для интеграции была рассмотренная часть установки, которая включает 16 потоков.

Сырая нефть. Направляется из сырьевых резервуаров через группу теплообменников на обессоливание.  $T_{нач}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=113,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход - 99,2 кг/ч.

Обессоленная нефть. Направляется из электродегидрататоров через группу теплообменников в колонну К-1.  $T_{нач}=105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=320\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 91,53 кг/ч.

Пары верха колонны К-1.  $T_{нач}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 9,15 кг/ч.

Пары верха колонны К-2.  $T_{нач}=150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 13,73 кг/ч.

ВЦО К-2.  $T_{нач}=150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 4,56 кг/ч.

ВЦО К-7.  $T_{нач}=170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 2,8 кг/ч.

СЦО К-2.  $T_{нач}=220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 5,85 кг/ч.

СЦО К-7.  $T_{нач}=270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 12,4 кг/ч.

НЦО К-2.  $T_{нач}=320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=225\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 16,01 кг/ч.

НЦО К-7.  $T_{нач}=330\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=230\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход- 10,45 кг/ч.

Гудрон > 550°C. Продукт К-7.  $T_{нач}=340^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=160^{\circ}\text{C}$ , расход- 37,24 кг/ч.

Фракция 180-230°C. Выходит боковым продуктом в жидкому виде из колонны К-2. Используется как компонент летнего дизельного топлива.  $T_{поч}=200^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кин}=65^{\circ}\text{C}$ , витрата- 5,85 кг/ч.

Фракция 230-360°C. Выходит боковым продуктом в жидкому виде из колонны К-2. Используется как компонент летнего дизельного топлива.  $T_{уфх}=320^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кжу}=110^{\circ}\text{C}$ , расход- 16,01 кг/ч.

Фр. 360-450°C. Продукт К-7.  $T_{нач}=260^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=100^{\circ}\text{C}$ , расход- 12,40 кг/ч.

Фр. 450-550°C. Продукт К-7.  $T_{нач}=320^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон}=100^{\circ}\text{C}$ , расход- 12,40 кг/ч.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПРОЦЕССА.

Используя результаты изучения технологической схемы, регламента, материальный баланс установки, составляется таблица 1 потоковых данных. В целом, в распоряжении есть 13 горячих технологических потоков и 3 холодных потоков с определенными потовыми данными.

Используя данные, полученные при обследовании установки, строим сеточную диаграмму процесса первичной переработки нефти (рис. 2). После определения и суммирования тепловых нагрузок всех теплообменных аппаратов получено мощность рекуперации на холодных потоках, 57 213,48 кВт и на горячих - 69 3773,23 кВт. Разница ( $\approx 12$  МВт) выходит при отсутствии изоляции на теплообменниках. Поэтому для расчетов были взяты среднее значение, как есть равна 63 295,36 кВт.

Используя данные таблицы. 1 и сеточной диаграммы, строим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составляющие кривые выбранной системы технологических потоков. Расположение кривых должно быть таким, чтобы интервал перекрытия между ними составлял рассчитанную величину рекуперации мощности (рис. 3).

Проекция горячей составляющей кривой на энтальпийную ось (абсцисс) показывает значение тепловой мощности, которую возможно отвести от системы горячих потоков и использовать для подогрева холодных технологических потоков. Эта величина составляет 17 122,1кВт. Аналогично, проекция холодной составленной кривой на энтальпийную ось показывает значение мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам, она составляет 14 723,6кВт. Величину рекуперации энергии показывает зона перекрытия кривых. Это значение на диаграмме кривых составляет 63 295,36 кВт.

Наименьшее расстояние между кривыми на оси ординат (температурная ось) называется областью пинча выбранной системы технологических потоков. В данном случае пинч локализуется на температурах:  $T_{гор} = 320^{\circ}\text{C}$  и  $T_{хол} = 265^{\circ}\text{C}$ . Разница температур в области пинча равна  $55^{\circ}\text{C}$ . Эта разница была бы минимальной между теплоносителями в теплообменном оборудовании, если бы выполнялись условия вертикального теплообмена. Однако в данной теплообменной системе значительная часть тепловой энергии передается в условиях перекрестного теплообмена и при переносе тепловой энергии через пинч. Из-за этого не может быть обеспечено достижение целевых энергетических значений.

**Таблица 1. Система потоков для анализа энергопотребления установки первичной переработки Девонской нефти**

№	Название потока	Т и п	$T_s, ^{\circ}\text{C}$	$T_t, ^{\circ}\text{C}$	М, кг/с	С, кДж/(кг·К)	СР, кВт/К	$\Delta H$ , кВт	$\alpha$ , кВт/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )
1	ВЦО К-2 10%	г	150	50	4,56	4,57	20,832	20832	0,5
2	ВЦО К-7 21,5%	г	170	70	2,8	6,9	19,331	1933,1	0,5
3	СЦО К-2	г	220	120	5,85	14,15	82,77	8277	0,5
4	СЦО К-7	г	270	180	12,4	5	61,99	5579	0,5
5	НЦО К-2	г	320	225	16,01	3,74	59,96	5696	0,5
6	НЦО К-7	г	330	230	10,45	1,97	20,62	2062	0,5
7	Гудрон >550°C	г	340	160	37,24	2,7	100,55	18099	0,2
8	Фракция 180-230°C	г	200	65	5,85	2,1	12,34	1666	0,5
9	Фракция 230-360°C	г	320	110	16,01	3,97	63,61	13358	0,4
10	Фракция 360-450°C	г	260	100	12,4	4,56	56,51	9041	0,4
11	Фракция 450-550°C	г	320	240	10,46	1,88	19,7	1576	0,3
12	Пары верха К-1	г	160	80	9,15	2,5	22,88	1830	0,7
13	Пары верха К-2	г	150	70	13,73	2,5	34,32	2746	0,7
14	Нефть до ЭД	х	10	113,5	99,2	2,1	208,32	21561	0,3
15	Нефть после ЭД	х	105	320	91,53	2,65	242,55	54574	0,3
16	Питание К-2	х	320	380	83,85	2,9	243,16	14590	0,6



Используя данные из табл. 1 и сеточной диаграммы, строим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составляющие кривые данной системы технологических потоков для  $\Delta T_{\min} = 8$ , (именно такую разницу температур мы выбираем с помощью программы Hint, которая выбирает наиболее рациональное значение). Для этого сдвигаем полученные составные кривые таким образом, чтобы на составных кривых достигалось значение  $\Delta T_{\min} = 8$  (рис. 4).

Составные кривые содержат большой объем информации о системе технологических потоков, утилитной системе и эффективности использования тепловой энергии, в процессе. Проекция горячей составляющей кривой на энтальпийную ось (абсцисс) показывает значение тепловой мощности, которую возможно отвести от системы горячих потоков и использовать для подогрева холодных технологических потоков. Эта величина составляет значение 5 723,06 кВт. Проекция

холодной составленной кривой на энтальпийную ось показывает значение мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам для выполнения процесса первичной переработки нефти на установке АВТ 3, она составляет 3 324,55 кВт.

Пинч локализуется на температурах:  $T_{\text{гор}} = 320^\circ\text{C}$  и  $T_{\text{хол}} = 312^\circ\text{C}$ . Горячие утилиты уменьшаются приблизительно на 11 399,04 кВт, а холодные – на 11 399,05 кВт.

Используя полученные данные, строим сеточную диаграмму (рис. 5) в которой достигаются целевые энергетические значения. При проектировании новой схемы, необходимо придерживаться  $CP$ ,  $\Delta H$  и  $\Delta T$  правил, а также запретить перенос теплоты через пинч.

Благодаря расчету пинча и построению диаграммы составных кривых процесса создаем проект реконструкции схемы первичной переработки Девонской нефти на установке АВТ 3, как показано на рис 6.

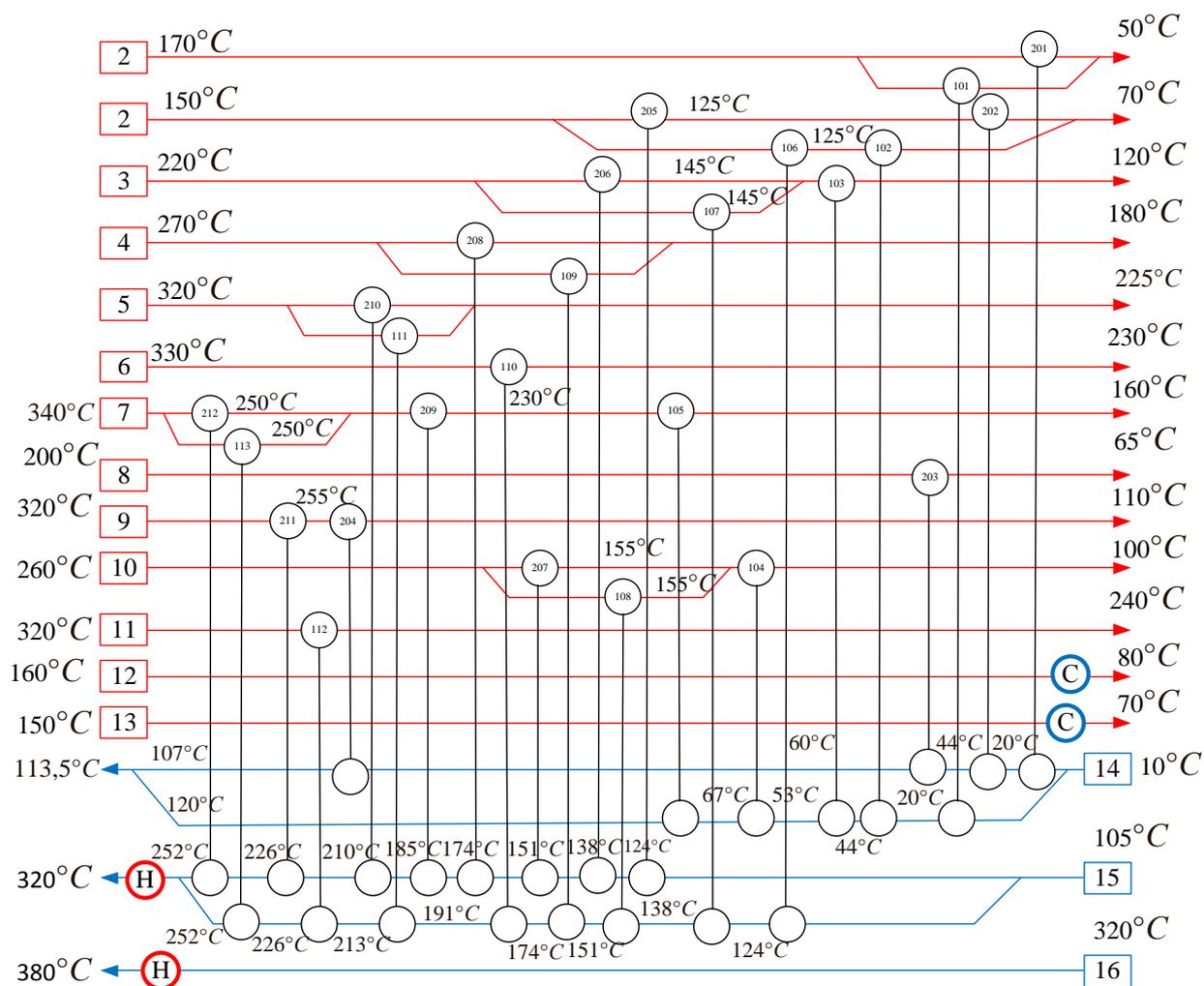


Рис. 2. Сеточная диаграмма для существующего процесса; 1-13 – горячие потоки, 14-16 – холодные потоки

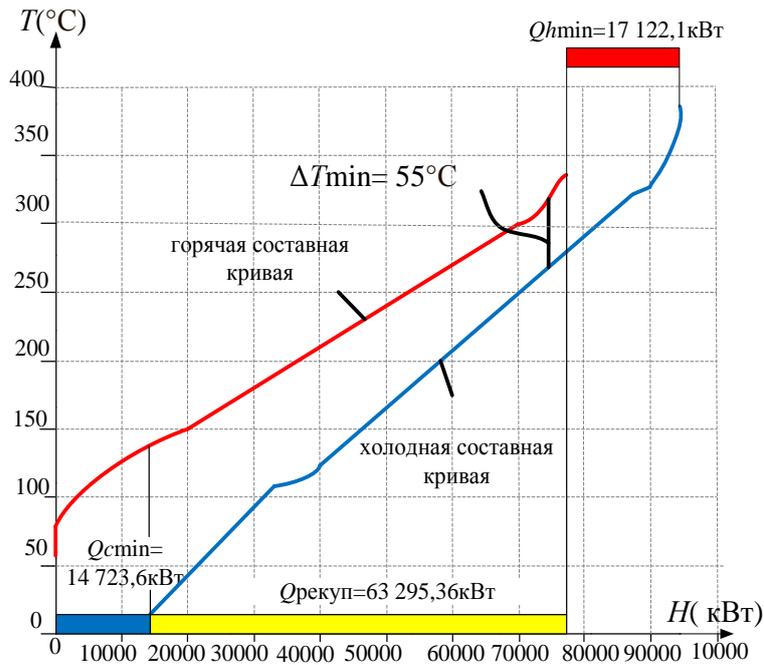


Рис. 3 – Составные кривые для существующего процесса переработки нефти

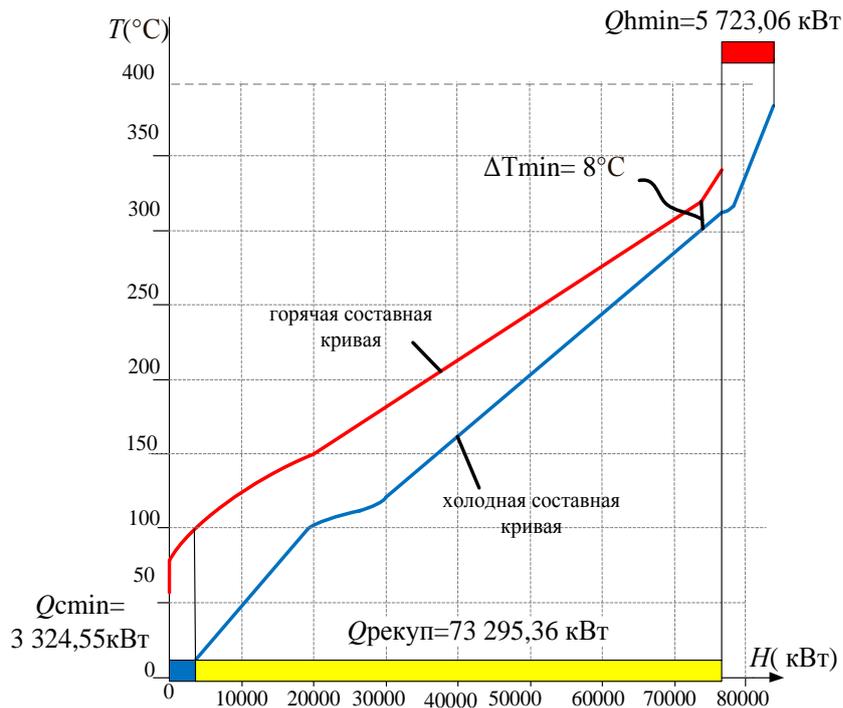


Рис. 4 – Составные кривые, построенные для  $\Delta T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$

## ВЫВОДЫ.

В результате обследования процесса первичной переработки Девонской нефти были выявлены недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления. На основе расчетов составлена принципиальная энерготехно-

логическая схема проекта реконструкции, внедрение которой позволит снизить удельное энергопотребление горячих утилит на 11 399,04 кВт, а холодных – на 11 399,05 кВт, что составляет 65,58% за горячими утилитами и 77,42 % за холодными утилитами. Согласно экономическим расчетам, потенциал энергосбережения составляет 12 361 609,7 грн на год. Срок

окупаемости предложенного проекта реконструкции составит приблизительно 1 год.

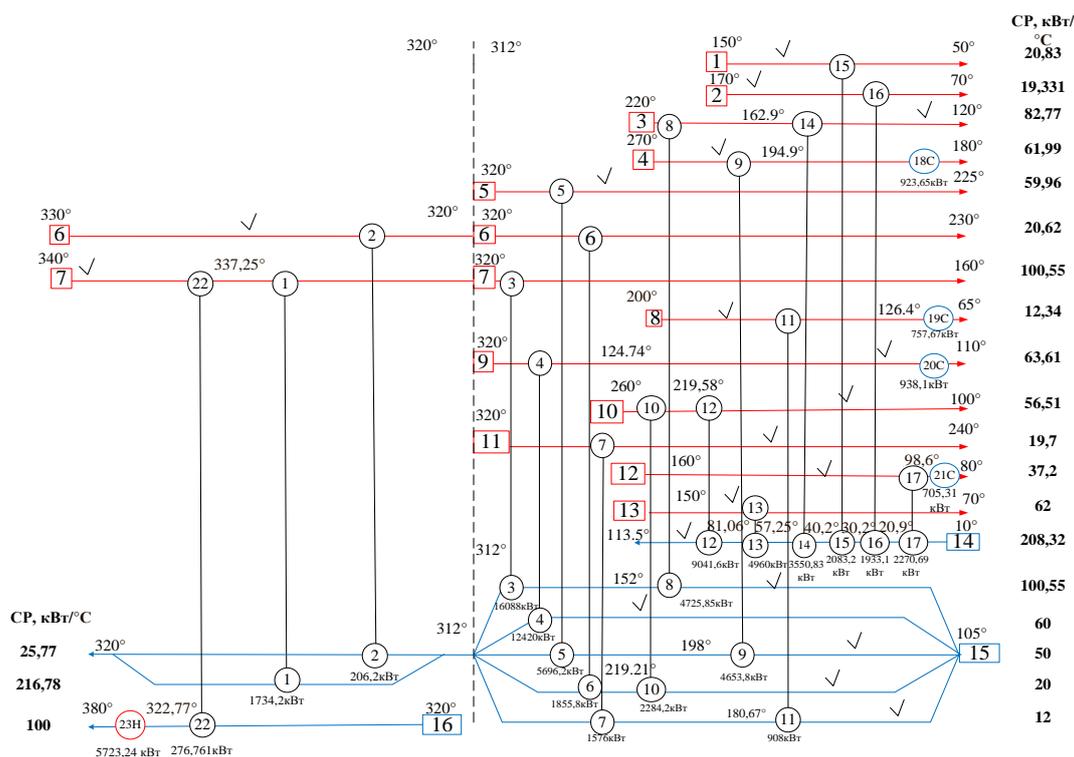


Рис. 5 - Сеточная диаграмма для интегрированного процесса: 1-13 – горячие потоки, 14-16 – холодные потоки, CP- потоковая теплоемкость

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сайт энергосберегающих технологий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://energo.kiev.ua/>
- [2] Методичні вказівки для вивчення учбових матеріалів по розділу «Пінч-аналіз» за курсом «Вступ до спеціальності» для студентів хіміко-технологічних спеціальностей усіх форм навчання / Уклад. Товажнянський Л.Л., Ульєв Л.М. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 40 с
- [3] Plesu V. *Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen* / Plesu V., Baetens D., Bumbac G. // 1<sup>st</sup> Conference on process integration, modeling and optimization for energy saving and pollution reduction. PRES'01. Chemical engineering translations, 2001. – Vol. 2. – p. 489-492
- [4] Мановян А.К. *Технология первичной переработки нефти и природного газа* / А.К. Мановян. – М.: Химия, 2001. – 569 с
- [5] Tovazhneanski L.L. *Energy Integration of the Early Crude Oil Unit with Take Into Different regime* / L.L. Tovazhneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, M.V. Tarnovsky // Chemical Engineering Transaction. – 2005 – Vol. 7. – p. 103–108
- [6] Товажнянський Л.Л. *Повищення енергетичної ефективності установки первичної переработки нефти с помощью методов Пинч-анализа* / Л.Л. Товажнянський, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв, Б.Д. Зулин // Междунар. конф. «Математические методы в химии химической технологии», ММХ-9. Сборник тезисов. Часть 2. Тверь. – 1995. – с. 27-28
- [7] Вержичинская С.В. *Химия и технология нефти и газа* / С.В. Вержичинская, С.А. Синицин. – «Форум», 2009. – с. 130-131

## Информация об авторах



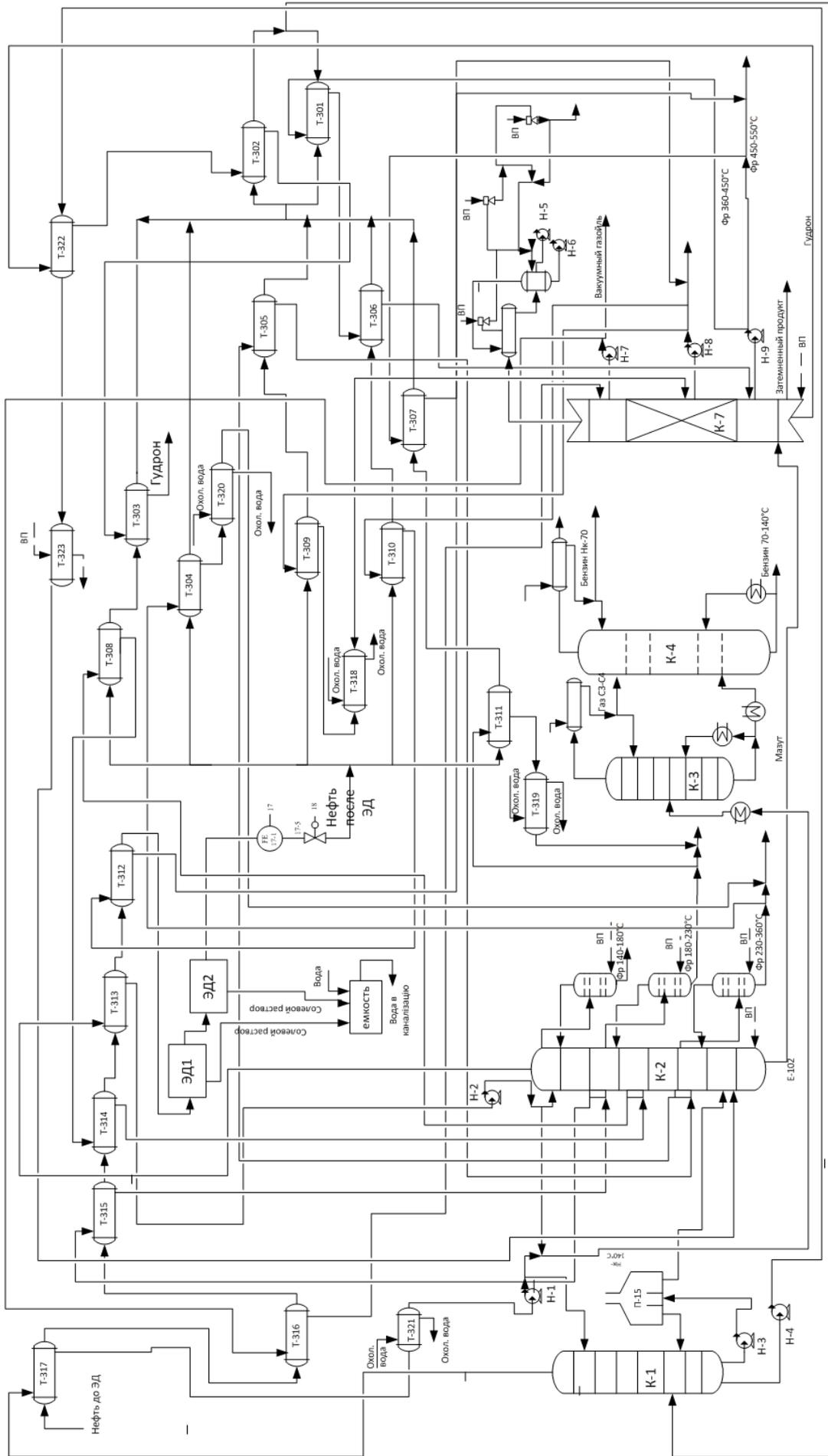
**Ульєв Леонид Михайлович**, д.т.н., проф. кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Область научных интересов: энергоэффективность химико-технологических систем, теплопередача, гидродинамика, неизотермическая реология.



**Химич Ольга Игоревна** бакалавр кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов НТУ «ХПИ».



**Валєнова Оксана Юрьевна**, бакалавр кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов НТУ «ХПИ».



ЭД1, ЭД2 - электродегидраторы; Т - кожухотрубный теплообменный аппарат; Н - насос; П - печь; К-1 - отбензинивающая колонна; К-2, К-3, К-4 - тарелчатая колонна; К-7 - насасочная колонна под давлением выше атмосферного; ВП - вторичный пар; Охл вода - охлаждающая вода; Гудрон - атмосферного;

Рис.6 – Схема реконструкции установки первичной переработки нефти