

**П.А. КАПУСТЕНКО**, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;

**О.П. АРСЕНЬЕВА**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;

**А.О. ГАРЕВ**, асс. НТУ «ХПИ»;

**Д.С. ЗАХАРОВ**, магiстр НТУ «ХПИ»

## **ТЕПЛОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ УСТАНОВКИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГИДРОЛИЗНОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ**

В статье описывается проведение тепловой интеграции установки кристаллизации гидролизной серной кислоты. На основе полученных при экстракции данных была построена новая потоковая таблица, новые составные кривые, принципиальная схема установки после реконструкции, а также сеточная диаграмма для новой теплообменной сети.

**Ключевые слова:** Кристаллизация, серная кислота, тепловая интеграция, потоковые данные, сеточная диаграмма, пинч, схема.

**Введение.** Украина в настоящее время обеспечена собственными энергетическими ресурсами не более чем на 40%, а средняя стоимость энергии приходящейся на удельный продукт, выпускаемый украинской промышленностью, даже с учетом теневого производства, в 1,5–2 раза превышает этот показатель для индустриально развитых стран. В значительной степени это происходит из-за того, что технологические схемы действующих сейчас в Украине промышленных предприятий были созданы во время относительно дешевых энергоносителей. В настоящее время, когда стоимость энергии резко возросло, и на Украине существует ее дефицит, вопрос экономии энергии для промышленных предприятий является жизненно важным. Поэтому большинство украинских предприятий необходимо использовать современные ресурсы и энергосберегающие методы проектирования [1]. Один из таких методов, известный в настоящее время под названием «пинч-анализ», появился в индустриально развитых странах во время нефтяного кризиса 70-х годов двадцатого века.

© П.А. Капустенко, О.П. Арсеньева, А.О. Гарев, Д.С. Захаров. 2013

Применяя принципы пинч-технологии, инженер может использовать простые и понятные принципы и правила, учитывая контроль и управление, компоновки и коммуникации проектируемого предприятия, безопасность, контроль загрязнений окружающей среды и т.д. с целью получения интегрированного проектного решения, которое, как правило, является не только энергетически оптимальным, но и технически приемлемым, осуществимым [8].

Руководствуясь основами «пинч-проектирования» на основе полученных данных, была проведена реконструкция установки кристаллизации серной кислоты.

**Потоковые данные после интеграции.** После анализа полученных при экстракции данных, для использования тепла выделяемого при охлаждении и конденсации аммиака, было решено добавить к существующей схеме холодный поток технической воды (7). Заносим данные нового потока в потоковую таблицу (табл. 1).

Таблица 1. Потоковые данные с новым холодным потоком

№	Название потока	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_r, ^\circ\text{C}$	G, кг/год	CP, кВт/К	$\Delta H,$ кВт
1	Аммиак газоподобный	гор	130	36	15090	9	860
2	Аммиак газоподобный	гор	120	36	8933	5	455
3	Аммиак (конденсация)	гор	36	36	15090		2252
4	Аммиак (конденсация)	гор	36	36	8933		3881
5	Серная кислота (выходная)	гор	20	8	106000	107	1283
6	Осветленный раствор	хол	-5	9,2	93970	90	1283
7	Вода техническая	хол	25	80	22740	26	1447

**Составные кривые.** На основе новых данных, были построены составные кривые (рис. 1).

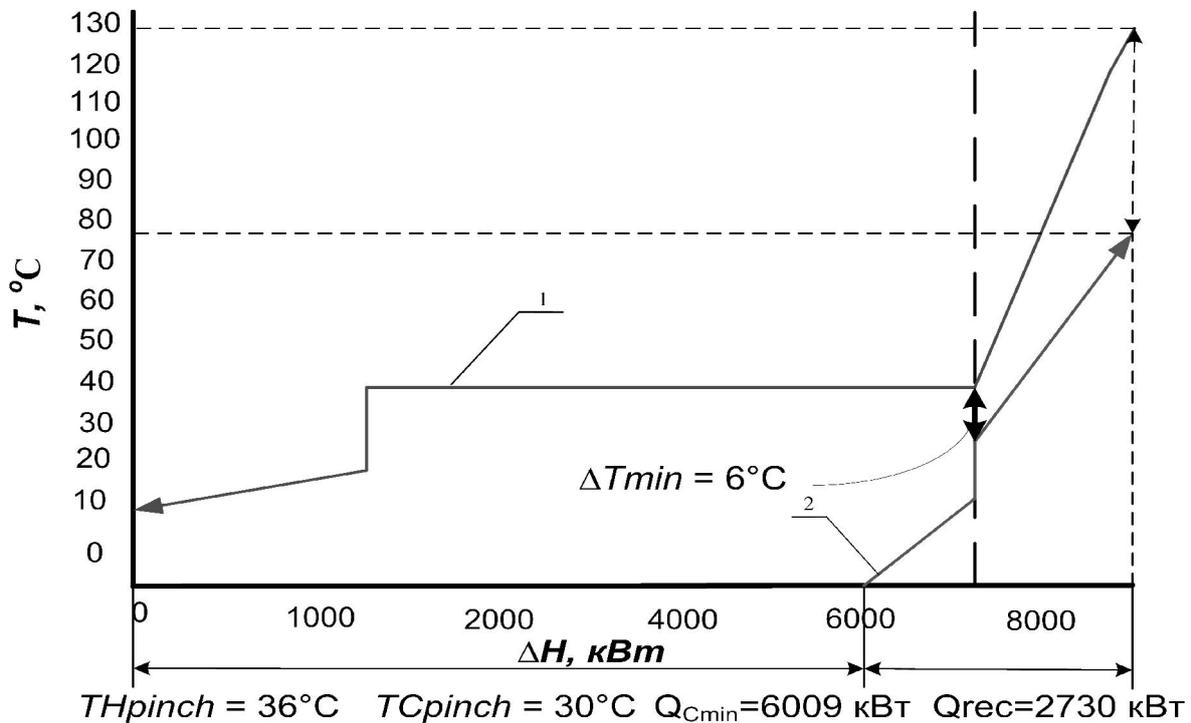


Рис. 1. Новые составные кривые. 1 – горячие потоки, 2 – холодные потоки

**Расчет табличной задачи для новой схемы.** Табличный алгоритм задачи состоит из следующих этапов:

- корректировки  $\Delta T_{\min}$  – правило сдвига;
- установка пределов новых температурных интервалов;
- расчет температурных балансов в температурных интервалах;
- построение теплового каскада без потребления внешней энергии;
- построение каскада плюсовых тепловых потоков;
- определение локализации пинча и целевых энергетических значений;
- определение температур пинча для горячих и холодных потоков.

Представим, что горячая составная кривая на  $\Delta T_{\min}/2$  холоднее, чем в действительности, а холодная составная кривая на  $\Delta T_{\min}/2$  горячее, чем в действительности.

Определим сдвинутые температурные интервалы (табл. 2).

Таблица 2. Сдвинутые температурные интервалы после тепловой интеграции

№	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_r, ^\circ\text{C}$	$T_s^*, ^\circ\text{C}$	$T_r^*, ^\circ\text{C}$	CP, кВт/К	$\Delta H, \text{кВт}$
1	гор	130	36	127	33	9	860
2	гор	120	36	117	33	5	455
3	гор	36	36	33	33		2252
4	гор	36	36	33	33		3881
5	гор	20	8	17	5	107	1283
6	хол	-5	9,2	-2	12,2	90	1283
7	хол	25	80	28	83	26	1447

Расположим сдвинутые температурные интервалы и технологические потоки на протяжении температурной оси (рис. 2).

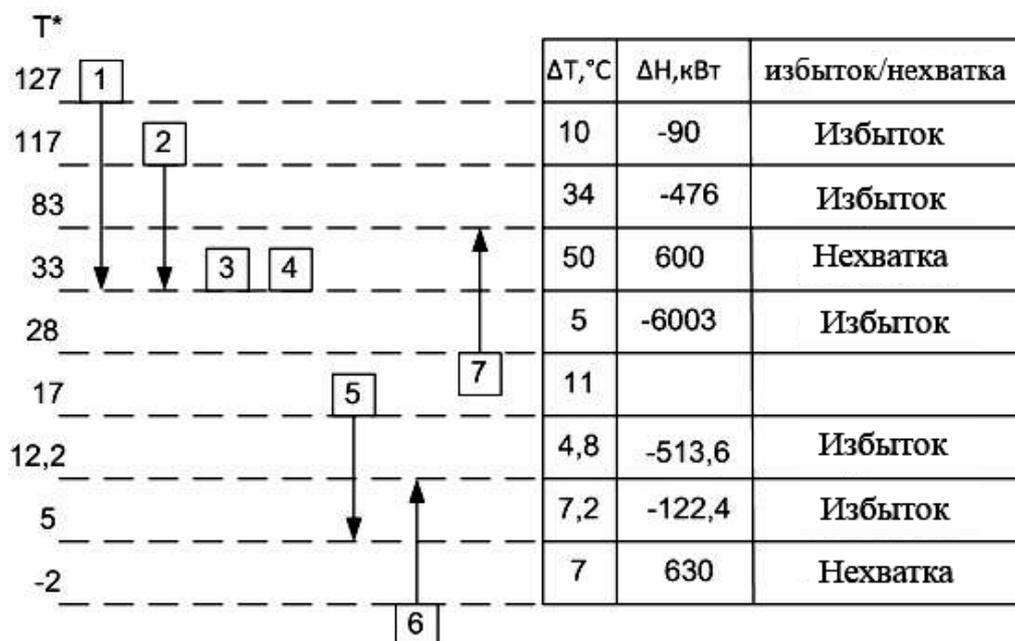


Рис. 2. Сдвинутые температурные интервалы и технологические потоки

Далее проведем расчет тепловой нагрузки для каждого интервала:

$$\Delta H_{1\text{инт}} = -C P_1 \cdot \Delta T_{1\text{инт}} = -9 \cdot 10 = -90 \text{ кВт};$$

$$\Delta H_{2\text{инт}} = (-C P_1 + (-C P_2)) \cdot \Delta T_{2\text{инт}} = -14 \cdot 34 = -476 \text{ кВт};$$

$$\Delta H_{3\text{инт}} = C P_7 - C P_1 - C P_2 \cdot \Delta T_{3\text{инт}} = 26 - 9 - 5 \cdot 50 = 600 \text{ кВт};$$

$$\Delta H_{4\text{инт}} = -\Delta H_3 - \Delta H_4 + C P_7 \cdot \Delta T_{4\text{инт}} = -2252 - 3881 + 26 \cdot 5 = -6003 \text{ кВт};$$

$$\Delta H_{5\text{инт}} = 0 \text{ кВт};$$

$$\Delta H_{6\text{инт}} = -C P_5 \cdot \Delta T_{5\text{инт}} = -107 \cdot 4,8 = -513,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta H_{7\text{инт}} = (C P_6 - C P_5) \cdot \Delta T_{7\text{инт}} = (90 - 107) \cdot 7,2 = -122,4 \text{ кВт};$$

$$\Delta H_{8\text{инт}} = C P_6 \cdot \Delta T_{8\text{инт}} = 90 \cdot 7 = 630 \text{ кВт};$$

Расположим наши температурные интервалы вдоль температурной шкалы ниспадающим вниз каскадом. Направим вниз по температурной шкале любой избыток тепла от интервала к интервалу. Первый интервал не получает тепловую энергию от внешних источников.

Каскад табличного алгоритма представлен на (рис. 3).

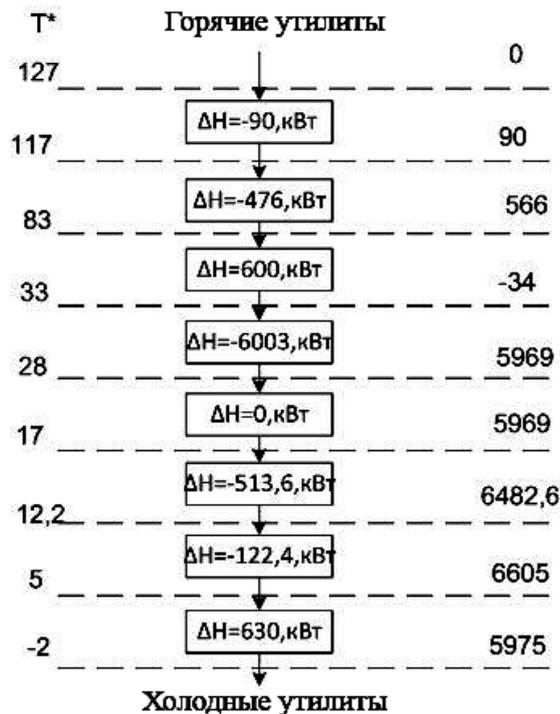


Рис. 3. Каскад табличного алгоритма

Из полученных данных тепловой мощности выбираем наибольшее отрицательное значение и прибавляем его к горячим утилитам (рис. 4).

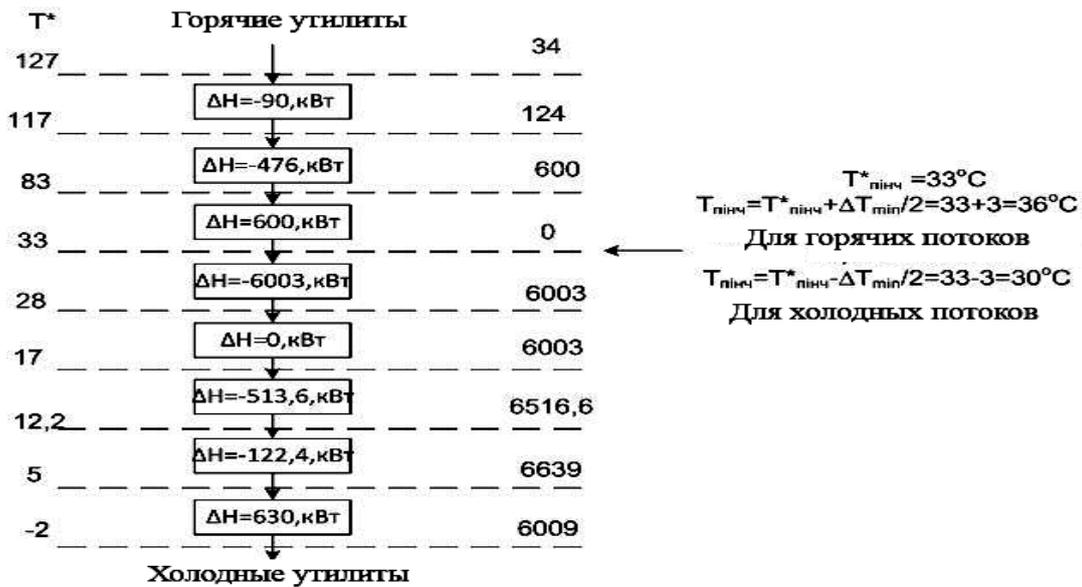


Рис. 4. Определение температуры пинча при помощи каскада.

Отсюда:  $Q_{Cmin} = 6009$  кВт.

**Построение сеточной диаграммы.** На основе полученных данных, строим новую сеточную диаграмму (рис. 5).

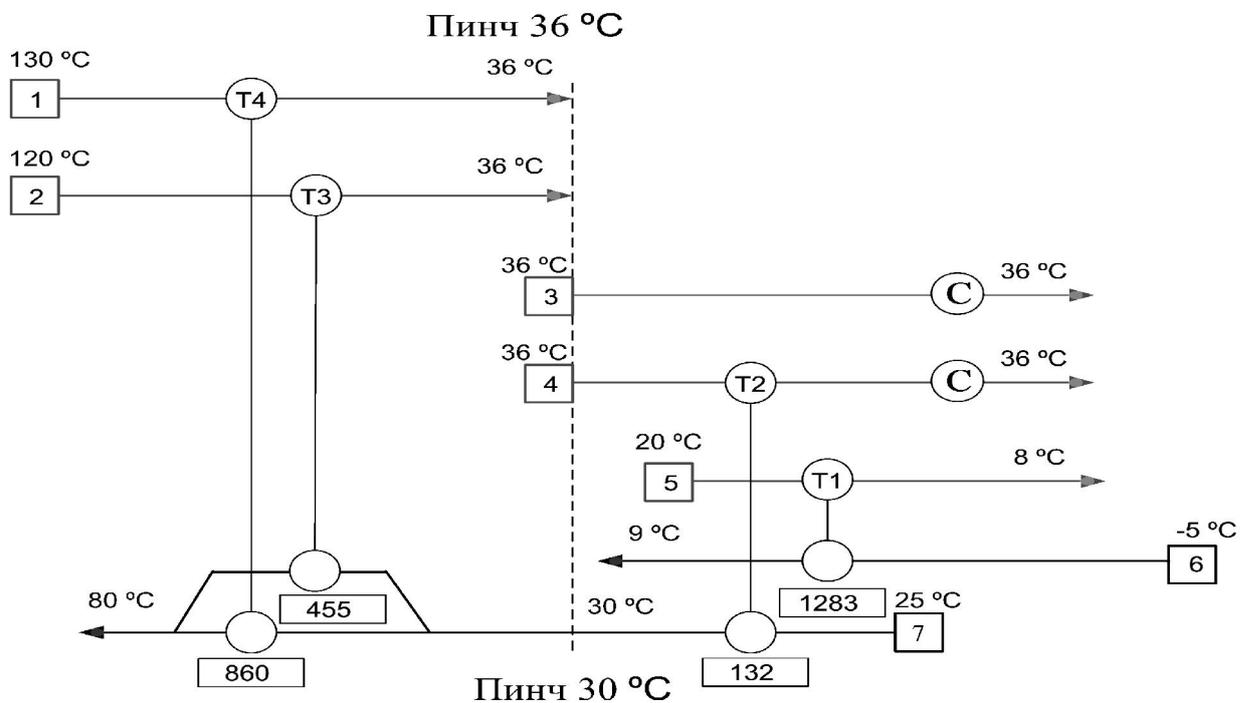


Рис. 5. Сеточная диаграмма после интеграции: потоки 1–5 – холодные, потоки 6 и 7 – горячие

**Энергофункциональная схема.** На основе новых данных, была разработана энергофункциональная схема после реконструкции (рис. 6).

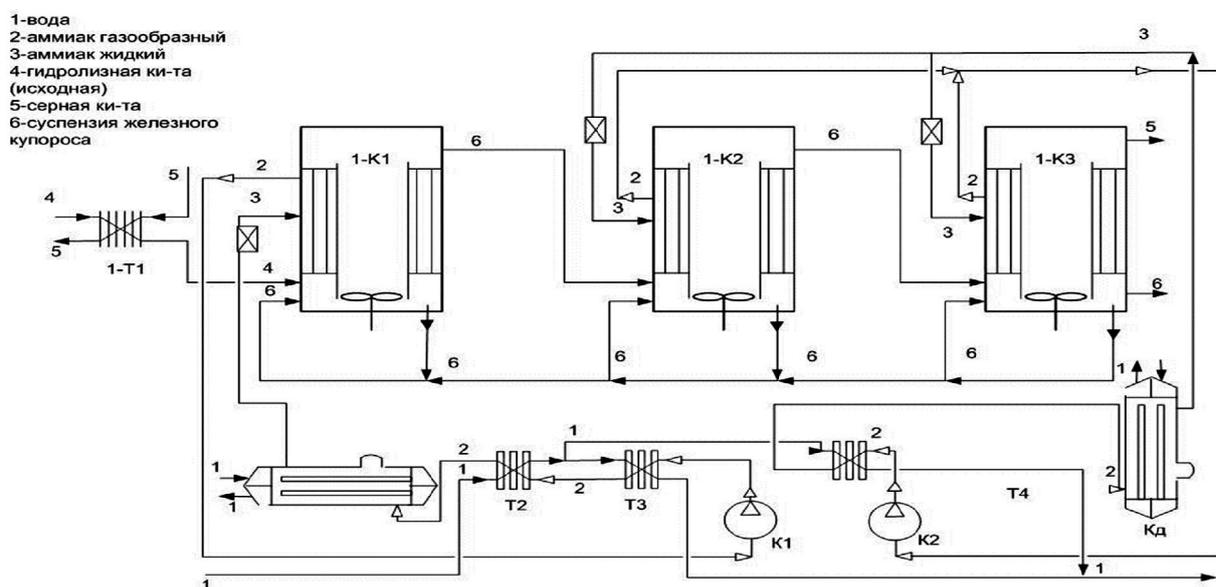


Рис. 6. Энергофункциональная схема после реконструкции.

**Основные технико-экономические показатели.**

Таблица 3. Основные технико-экономические показатели

Название величины	Величина
Расходы на проектирование, Зп, грн.	131261
Общая стоимость оборудования, Зоб, грн.	1339400
Общая сумма капитальных расходов, К, грн.	1470661
Общая сумма годовых расходов по эксплуатации, Зэкс, грн.	421510
Годовая Экономия, ΔS, грн.	3128825
Годовой прирост балансового дохода, Пгб, грн.	2707315
Годовой прирост чистой прибыли, Пгод, грн.	2030486
Термин окупаемости, Ток, лет.	0,73
Коэффициент эффективности капитальных вкладов, Е грн./грн.	1,38

## **Выводы.**

После проведения анализа исходных данных, расчета новых потоков, разработки новой схемы установки и теплообменной сети, было установлено, что срок окупаемости установки при условии внедрения пинч-интеграции составил менее года, интеграции является экономически целесообразной.

**Список литературы:** 1. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов, авт./ *Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев* // Х. : ХГПУ, 2000. – С. 457. 2. *Амелин А.Г.* Технология серной кислоты. Уч. пособие для вузов. 2-е изд. // М.: Химия. 1983. – 360 с. 3. *Шварцштейн Я.В.* Использование и переработка гидролизной серной кислоты и сульфатов железа // М.: Химия. 1970. – 15 с. 4. *Лебедев А.Я.* Установки для денитрации и концентрирования серной кислоты // М.: Химия. 1972. – 240 с. 5. *Дюмаев К.М.* Регенерация отработанных сернокислотных растворов / *К.М. Дюмаев, Э.И. Эльберт.* // М.: Химия. 1987. – 112 с. 6. *К.М. Малин.* Справочник сернокислотчика. // М.: Химия. 1971. – 744 с. 7. *Загорулько Н.Е.* Екстракція даних для теплоенергетичної інтеграції процесу концентрації гідролісної сірчаної кислоти / *Н.Е. Загорулько, Л.М. Ульєв, А.О. Гарєв, М.В. Нехаєнко* // Вісник НТУ «ХП». 2011. – № 21. – С. 90–97. 8. *Ульєв Л.М., Нехаєнко М.В. Данілов Ю.Б.* Визначення потенціалу енергозбереження процесу концентрації гідролісної сірчаної кислоти – Інтегровані технології та енергозбереження. 2012. – № 2. – С. 12–17.

*Поступила в редколлегию 29.05.13*

УДК 661.25:66.012.3

**Тепловая интеграция установки кристаллизации гидролизной серной кислоты / П.А. Капустенко, О.П. Арсеньева, А.О. Гарев, Д.С. Захаров** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів.– Х.: НТУ «ХП». – № 55 (1028). – С. 131–138. – Бібліогр.: 8 назв.

У статті описується проведення теплової інтеграції установки кристалізації гідролісної сірчаної кислоти. На основі отриманих при екстракції даних була побудована нова потокова таблиця, нові складові криві, принципова схема установки після реконструкції, а також сіткова діаграма для нової теплообмінної мережі.

**Ключові слова:** Кристалізація, сірчана кислота, тепла інтеграція, потокові дані, Сіткова діаграма, пінч, схема.

This article contains information about heat integration of hydrolytic sulfuric acid crystallization plant. Using information received during data extraction the new stream data chart was build, as well as new composite curves, grid diagram and principal scheme for new heat exchanging network.

**Keywords:** Crystallization, sulfuric acid, Heat integration, stream data, grid diagram, pinch, scheme.