

**АНАЛИЗ И ВЫБОР ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КАРБАМИДА НА АГРЕГАТЕ АК-70**

**Введение.** Производство карбамида является одним из наиболее энергоемких химико-технологических процессов [1–3]. В настоящее время эффективность и рациональность использования топливно-энергетических ресурсов во многом определяется за счет эффективности работы технологического оборудования завода. Однако оборудование большинства предприятий, которые были запущены в эксплуатацию в 60–70-х годах прошлого столетия, не отвечает современным требованиям по качеству продукции, безопасности, уровню автоматизации управления процессами и т.д.

Поэтому существующие установки подвергаются реконструкции, в которой капиталовложение должны быть сведены к минимуму путем наиболее полного использования уже имеющего оборудования.

Зачастую существующее теплообменное оборудование на установках не обеспечивает необходимые параметры даже после оптимизации, и экономически целесообразно становится внедрение высокоэффективного ресурсосберегающего оборудования.

Во многих случаях наряду с повышением тепловой эффективности такого оборудования необходимо решать и другие не менее важные задачи: снижение металлоемкости, повышение эксплуатационной надежности и работоспособности.

В большинстве промышленных технологических процессов используются разнообразные варианты решения задачи теплоснабжения. Теплообменники передают тепло или холод от одной жидкости к другой и играют ключевую роль в обеспечении эффективности всего производственного процесса.

Компания Alfa Laval предлагает широчайший выбор теплообменников: от аппаратов, рассчитанных на работу при низких давлениях и температурах, до аппаратов, справляющихся с агрессивными средами, высокими и постоянно изменяющимися температурами и давлениями [4].

Поэтому использование пластинчатых теплообменников фирмы Alfa Laval является наиболее рационально.

**Описание реконструированной схемы процесса производства гранулированного карбамида на агрегате АК-70.** При интеграции потоков обычно используют сеточные диаграммы [5], на которые можно нанести все необходимые технологические данные, и при синтезе системы рекуперативного теплообмена нет необходимости в изменении маршрутизации технологических потоков при изменении расположения теплообменных аппаратов.

На рисунке 1 представлена сеточная диаграмма проекта реконструкции теплообменной сети. Тепловая интеграция выполняется для двух энергетически независимых подсистем ниже и выше пинча [6]. В подсхеме выше пинча холодные потоки находятся в тепловом балансе с горячими потоками и горячими утилитами. Аналогично, в системе ниже точки пинча горячие потоки находятся в тепловом балансе с холодными потоками и холодными утилитами.

Для выполнения теплового баланса выше и ниже точки пинча, который соответствует составным кривым, горячие потоки должны быть приведены к целевой температуре за счет теплообмена с холодными потоками.

Для того чтобы холодный поток № 16 – поток аммиака на колонну синтеза [7] довести до целевой температуры потребуется два теплообменных аппарата. С помощью расщепления и теплообмена с потоками №9 и №14, одна ветвь нагревается потоком № 9 – парожидкостной смесью из гидролизеров – поток №9 в теплообменнике № 11. Затем он охлаждается в утилитном теплообменном аппарате. Вторая ветвь потока № 16 нагревается потоком № 14 – потоком конденсата в теплообменнике №10, который сейчас поступает в теплообменник №13.

Холодный поток №22 – соковый конденсат доводится до своей пинч-температуры за счет теплообмена с потоком №7 – вторичный пар из 122. Затем он охлаждается в утилитном теплообменном аппарате.

Чтобы довести до пинч-температуры соковый конденсат (холодный поток №23) понадобится теплообмен с потоком №8 – вторичный пар из 126. Затем он охлаждается в утилитном теплообменном аппарате.

Выше пинча горячий поток № 3 – пары дистилляции первой ступени в 32а охлаждаются до своей целевой температуры за счет теплообмена с холодным потоком № 19 – жидкая фаза из 21 в 24.

Охлаждение вторичного пара из 122 (горячий поток № 7) до температуры пинча горячих потоков выше пинча за счет теплообмена с первой ветвью холодного потока №23 –раствора из 50 в 42.

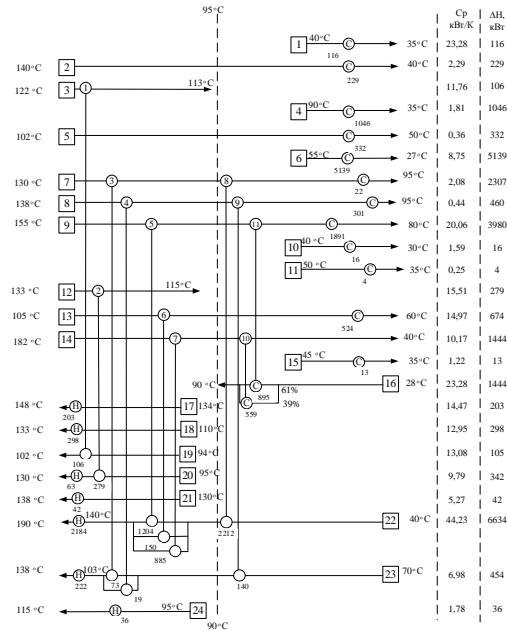


Рисунок 1 – Сеточная диаграмма интегрированного процесса производства гранулированного карбамида на агрегате АК-70

$CP$  – потоковая теплоемкость, кВт/К;  $\Delta H$  – изменения потоковой энтальпии, кВт;  
 1–11– рекуперативные теплообменные аппараты;  
 C, H – утилитные теплообменные аппараты

Горячий поток № 8 – вторичный пар из 126 охлаждается до температуры пинча горячих потоков выше пинча за счет теплообмена со второй ветвью холодного потока №23 –раствора из 50 в 42. Затем этот поток нагревается в утилитном теплообменном аппарате до своей целевой температуры.

Парожидкостная смесь из гидролизеров – горячий поток № 9 охлаждается до температуры пинча горячих потоков выше пинча за счет теплообмена с первой ветвью холодного потока №22 –сокового конденсата.

Горячий поток № 12 – раствор в 104 охлаждается до температуры пинча горячих потоков выше пинча за счет теплообмена с холодным потоком №20 –жидкая фаза из 120 в 122. Затем этот поток нагревается в утилитном теплообменном аппарате до своей целевой температуры.

Для того чтобы охладить вторичный пар из 122 (горячий поток № 13) до температуры пинча горячих потоков выше пинча необходим теплообмен со второй ветвью холодного потока №22 –сокового конденсата.

Горячий поток № 14 – поток конденсата, который сейчас направляется в теплообменник №13 охлаждается до пинч-температуры за счет теплообменника с третьей ветвью холодного потока №22. Затем этот поток нагревается в утилитном теплообменном аппарате до своей целевой температуры.

Остальные горячие потоки №1, №2, №4, №5, №6, №10, №11, №15 охлаждаются в утилитных теплообменных аппаратах, а холодные потоки №17, №18, №21, №24 нагреваются в утилитных теплообменниках паром.

Благодаря построению составных кривых для существующего и интегрированного процессов [8] и сеточной диаграмме интегрированного процесса (рис. 1) был создан проект реконструкции процесса производства гранулированного карбамида (рис. 2).

**Анализ и выбор теплообменного оборудования и системы теплообмена.**

После провидения пинч-проектирования было определено количество теплообменного оборудования, а также мощность, которую они потребляют.

Площади поверхности теплообменного оборудования определяется по формуле:

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{ln}}, \tag{1}$$

где  $Q$  – мощность теплообменного аппарата, которая объединяет холодный и горячий потоки;  $K$  – коэффициент теплопередачи между холодным и горячим потоками;  $\Delta T_{ln}$ – логарифмическая разность температур холодного и горячего потоков.

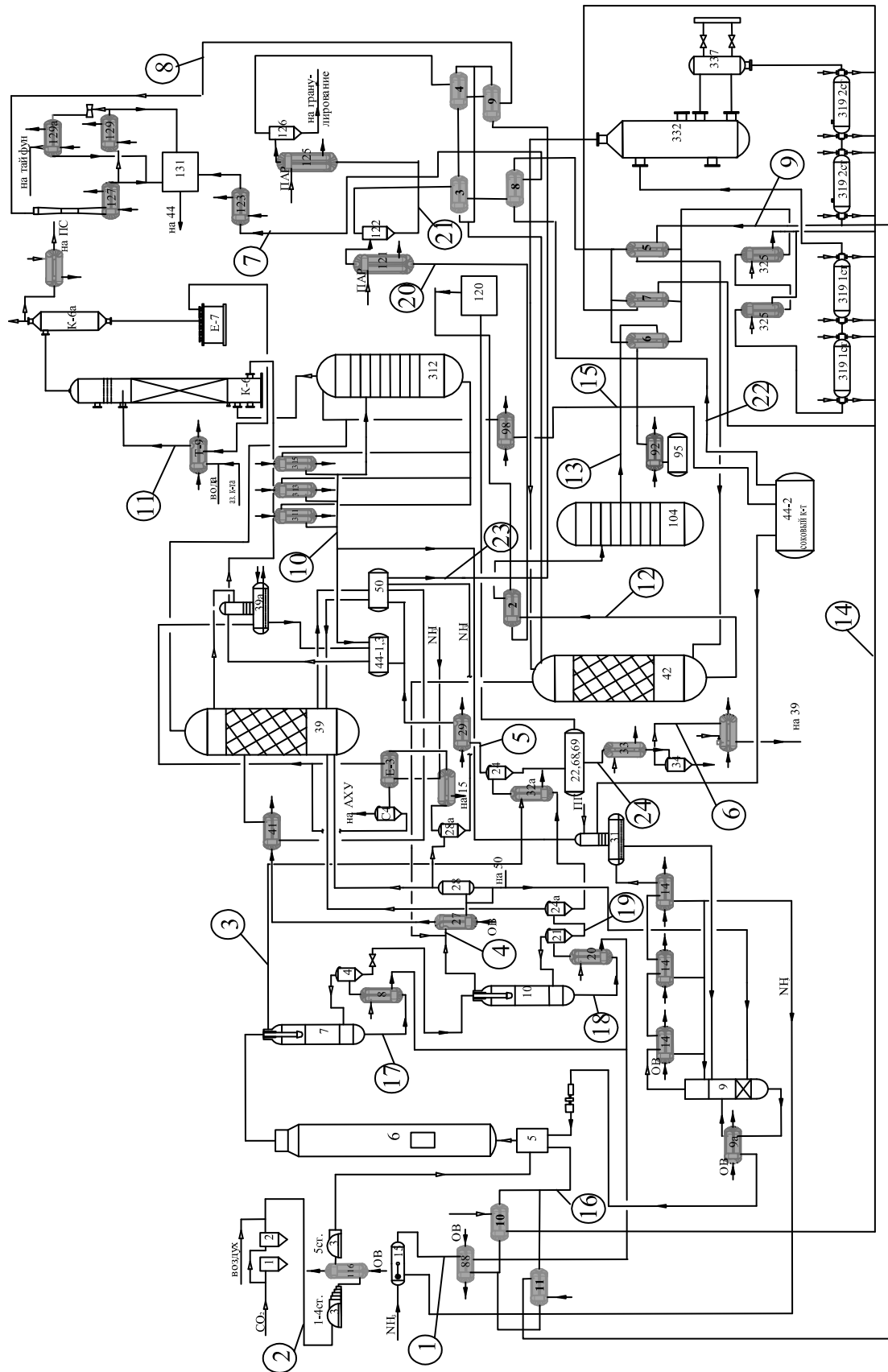


Рисунок 2 – Проект реконструкції процесу гранулюваного карбаміда в агрегатах АК-70

Необходимые значение коэффициента теплопередачи определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициента теплоотдачи холодного потока, кВт/ (м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_2$ – коэффициента теплоотдачи горячего потока, кВт/ (м<sup>2</sup>·°C).

Логарифмическая разность температур рассчитывается по формуле:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(T_{H_2} - T_{C_1}) - (T_{H_1} - T_{C_2})}{\ln \frac{T_{H_2} - T_{C_1}}{T_{H_1} - T_{C_2}}}, \quad (3)$$

где  $T_{H_1}$  – начальная температура горячего потока, °C;  $T_{H_2}$  – конечная температур горячего потока, °C;  $T_{C_1}$  – начальная температур холодного потока, °C;  $T_{C_2}$  – конечная температур холодного потока, °C.

Площадь теплообмена для всей теплообменной сети рассчитывается:

$$A_{\text{сеть}} = \sum_{k=1}^M \frac{1}{\Delta T_{\ln k}} \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_k} \frac{Q_{ij}^k}{K_{ij}}, \quad (4)$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка между  $i$ -м горячим и  $j$ -м холодным потоками, кВт;  $K$  – коэффициент теплопередачи между ними, кВт/ (м<sup>2</sup>·°C);  $I$  – количество горячих потоков  $k$ -ому интервале;  $J$  – количество холодных потоков в  $k$ -ому интервале;  $M$  – количество всех интервалов.

В таблице 1 приведен список необходимых теплообменников, которые можно расположить на предлагаемых размещениях сеточной диаграммы проекта реконструкции (рис. 1). Потребление горячих утилит составляет 2,9 МВт, а холодных – 9,5 МВт.

Таблица 1 – Таблица теплообменников для проекта реконструкции теплообменной системы

№	Горячий поток			Холодный поток			Q, кВт	S, м2	Стоимость, долл. США	Существующие теплообменники на новых позициях
	№	Твх, °C	Твых, °C	№	Твх, °C	Твых, °C				
T1	3	122	113	19	94	102	105	–	–	32а
T2	12	133	115	20	95	122	270	–	–	51
T3	7	130	95	23	90	103	73	9	10000	
T4	8	138	95	23	90	103	19	4	5000	
T5	9	155	95	22	90	140	1204	324	163000	
T6	13	105	95	22	90	100	150	10	11000	
T7	14	182	95	22	90	140	885	15	16000	
T8	7	95	95	22	40	90	2212	–	–	318
T9	8	95	95	23	70	90	140	4	5000	
T10	14	95	40	16	28	90	559	–	–	13
T11	9	95	80	16	28	90	885	10	11000	
							Всего	376	221000	

**Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления.** Целью данного проекта заключается в исследовании теплообменного оборудования. В результате применения пинч-методов получена новая система теплообмена и представлена работоспособная, экономически выгодная энерготехнологическая схема процесса производства. Были получены и занесены в таблицу основные параметры теплообменных аппаратов. Результаты данной работы можно использовать для экономического обоснования эффективного использования проекта реконструкции.

#### Литература

1. Горловский Д.М. Технология карбамида / Д.М. Горловский, Л.Н. Альтшулер, В.И. Кучерявый. – Л. Химия, 1981. – 320 с.
2. Клевке В.А. Технология азотных удобрений / В.А. Клевке, Н.Н. Поляков, Л.З. Арсеньева–Москва: Гос. научтехиздат химической литературы, 1956. – 288 с.

3. Кучерявый В.И. Синтез и применение карбамида / В.И. Кучерявый, В.В. Лебедев. – Л.: Химия, 1970. – 448 с.
4. Товажнянский Л.Л. Пластинчатые теплообменники в промышленности / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л.Хавин, О.П.Арсеньева. – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – 232с.
5. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.
6. Товажнянский Л.Л. Интеграция тепловых процессов на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 при работе в зимнее время / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев [и др.] // Теорет. основы хим. технологии. – 2009. –Т. 43, –№6. –С. 665–676.
7. Ульев Л.М. Экстракция данных для пинч-анализа производства карбамида на агрегате АК-70 / Л.М. Ульев, О.А. Яценко // Інтегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал – Харків: НТУ«ХПІ». 2013. – №2. С. 114–120.
8. Ульев Л.М. Определение энергосберегающего потенциала на установке АК-70 с помощью пинч-анализа / Л.М. Ульев, О.А. Яценко // Наукові праці ОНАХТ – Одесса. 2013. Вип. 43.Том. 1. С. 11–15.

Bibliography (transliterated)

1. Gorlovskiy D.M. Tehnologiya karbamida. D.M. Gorlovskiy, L.N. Altshuler, V.I. Kucheryavyy. – L. Himiya, 1981. – 320 p.
2. Klevke V.A. Tehnologiya azotnyih udobreniy. V.A. Klevke, N.N. Polyakov, L.Z. Arseneva.– Moskva: Gos. nauchtehzdat himicheskoy literaturyi, 1956. – 288 p.
3. Kucheryavyy V.I. Sintez i primeneniye karbamida. V.I. Kucheryavyy, V.V. Lebedev.– L.: Himiya, 1970.– 448 p.
4. Tovazhnyanskiy L.L. Plastinchatyye teploobmenniki v promyshlennosti. L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. – H.: NTU «HPI», 2004. – 232 p.
5. Smit R. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov. R. Smit, Y. Klemesh, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev. – Harkov: HGPU, 2000. – 457 p.
6. Tovazhnyanskiy L.L. Integratsiya teplovyih protsessov na ustanovke pervichnoy pererabotki nefiti AVT A12/2 pri rabote v zimnee vremya. L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev [i dr.]. Teoret. osnovyi him. tehnologii. – 2009. –Т. 43, –#6. – P. 665–676.
7. Ulev L.M. Ekstraktsiya dannyih dlya pinch-analiza proizvodstva karbamida na agregate AK-70. L.M. Ulev, O.A. Yatsenko. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. Schokvartalniy naukovopraktichniy zhurnal – Harkiv: NTU«HPI». 2013. – #2. P. 114–120.
8. Ulev L.M. Opredeleniye energosberegayushchego potentsiala na ustanovke AK-70 s pomoschyu pinch-analiza. L.M. Ulev, O.A. Yatsenko. Naukovi pratsi ONAHT – Odessa. 2013. Vip. 43.Том. 1. P. 11–15.

УДК 612.461.2

Ульєв Л.М, Яценко О.О

**АНАЛІЗ І ВИБІР ТЕПЛОБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА  
КАРБАМІДУ НА АГРЕГАТІ АК-70**

Мета даного проекту полягає в дослідженні теплообмінного обладнання процесу виробництва гранульованого карбаміду на агрегаті АК-70. В результаті застосування пінч-методів отримана нова система теплообміну і представлена працездатна, економічно вигідна енерготехнологічна схема процесу виробництва. Були отримані і занесені в таблицю основні параметри теплообмінних апаратів. Результати даної роботи можна використовувати для економічного обґрунтування ефективного використання проекту реконструкції.

Ulyev L.M., Yatsenko O.A.

**ANALYSIS AND SELECT HEAT EXCHANGER EQUIPMENT FOR THE UREA PRODUCTION ON  
THE UNIT AK-70**

The goal of this project is investigated the heat exchange process of production of granular urea on the unit AK-70. As a result of the pinch method we obtain a new heat exchange system and presented a workable, cost-effective power technology scheme of the production process. Have been received and tabulated the basic parameters of heat exchangers. The results of this work can be used for the feasibility study the effective use of the reconstruction project.