

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КАРБАМИДА НА АГРЕГАТЕ АК-70

Ульев Л.М., д-р техн. наук, проф.,

Яценко О.А., аспирантка

Национально-технический университет «Харьковский политехнический институт»,  
г. Харьков

*В работе выполнена пинч-интеграция процесса производства гранулированного карбамида. С помощью методов пинч-проектирования построена сеточная диаграмма предложенного проекта рекуперации тепловой энергии. На основе сеточной диаграммы системы рекуперации предложена энерготехнологическая схема процесса гранулированного карбамида, в которой мощность рекуперативной энергии увеличена в полтора раза.*

*Pinch-integration of the process granulated urea was made in the paper. With the help of pinch-design methods was built the grid diagram for proposal heat energy recuperation system. Power technology scheme for process of granulated urea was proposed on basis of grid diagram. This design allows increase of recuperation capacity more than 1.5 times.*

Ключевые слова: химико-технологическая система (ХТС), энергосбережение, пинч-анализ, сеточная диаграмма.

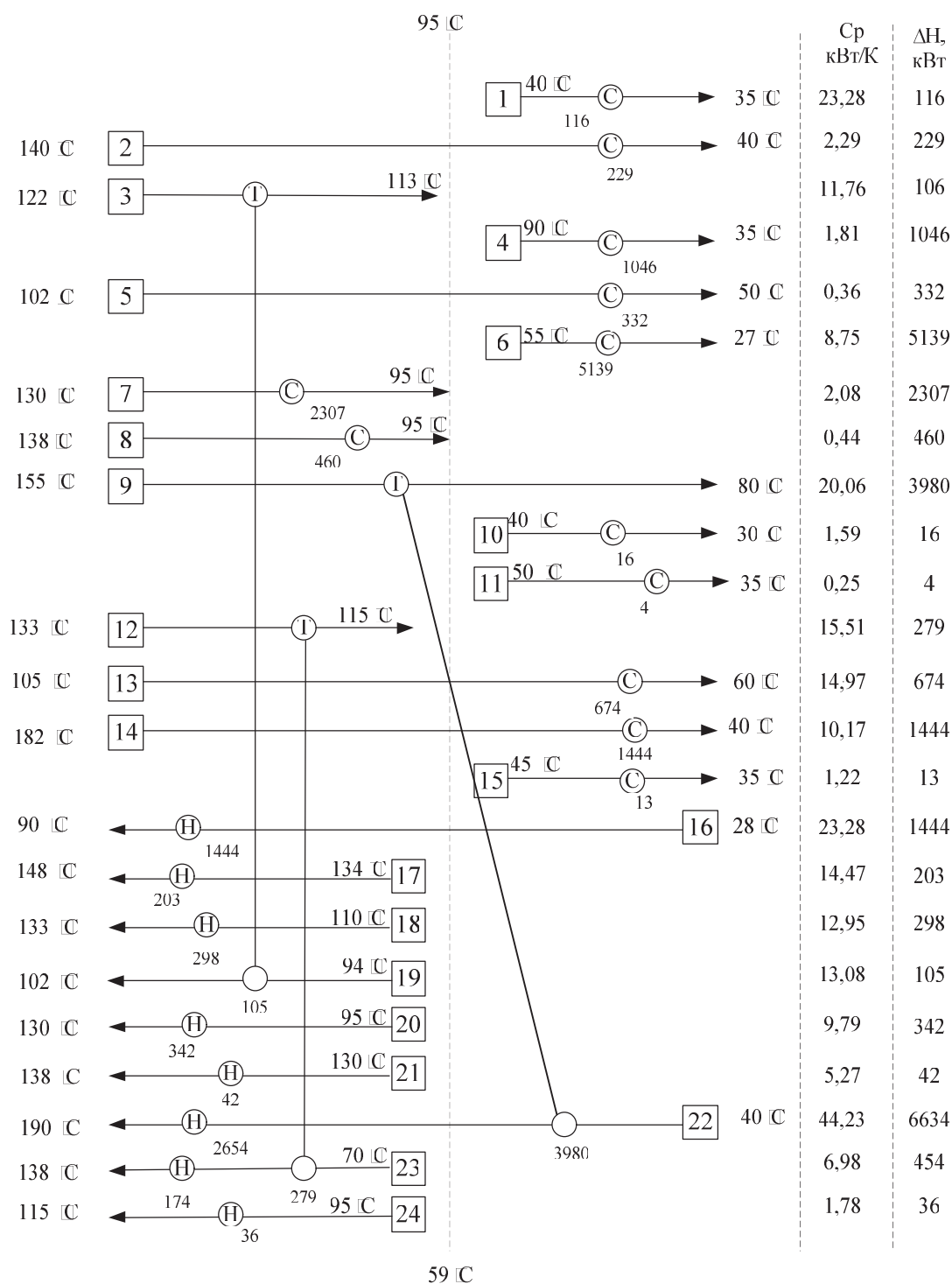
**Введение.** В третьем тысячелетии ограниченность запасов материальных, особенно топливно-энергетических, ресурсов выдвинула на первый план задачу обеспечения долговременного устойчивого развития человечества и всех сфер обеспечения его жизнедеятельности. Химическая промышленность и ее различные отрасли являются одними из крупнейших потребителей разнообразных природных ресурсов, оказывающими к тому же неблагоприятное воздействие на окружающую среду за счет выбросов загрязняющих веществ, парниковых газов, отходов производства и тепловой эмиссии. Обеспечить рациональное потребление ресурсов и сократить вредное воздействие химических производств можно на основе всестороннего анализа и оптимизации составляющих их химико-технологических систем [1, 2]. Именно поэтому необходим переход к действиям, которые, во-первых, обеспечат уменьшение потребления энергии, во-вторых, позволят создать новые более эффективные способы получения энергии. В этом плане возможности химии велики. Первое направление, где химия может быть эффективной – разработка технологий, обеспечивающих уменьшение затрат энергии на производство единицы продукта. Вторым является создание новых видов химического топлива, обеспечивающих энергетическую и экологическую эффективность. Третье – новые эффективные технологии получения энергии, как с известными так и с новыми энергоносителями.

Одним из важных направлений ресурсосбережения в химической промышленности является энергосбережение. На первоначальном этапе разработки методологии создания ресурсосберегающих ХТС были предложены методы синтеза рекуперативных тепловых систем. Одним из наиболее известных методов синтеза оптимальных тепловых систем является пинч-метод с использованием составных тепловых кризисов.

Литературные данные, опубликованные в различных источниках [3-5], говорят о том, что при использовании методов пинч-анализа, можно сократить энергопотребление на предприятия практически в 2 раза. С помощью методов интеграции тепловых процессов можно достичь качественного улучшения процесса проектирования, сокращения затрат на энергоносители, уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду, лучшего использования капитальных вложений, повышение продуктивности после реконструкции.

Ранее, в работе [6], было начато решение проблемы по энергосбережению процесса производства гранулированного карбамида на агрегате Ак-70. Были выявлены недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления. Определено оптимальное значение минимальной разности температур между теплоносителями на теплообменном оборудовании процесса [7]  $\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ .

**Теплоэнергетическая интеграция.** В работе [6] была получена сеточная диаграмма существующего процесса производства гранулированного карбамида (рис. 1) и определены технологические потоки доступные для теплоэнергетической интеграции. Найдены технологические данные этих потоков, которые представлены в потоковой таблице (табл. 1)



*T* – теплообменные аппараты, *C* и *H* – холодные и горячие теплоносители,  
*CP* – потоковая теплоемкость, кВт/К;  $\Delta H$  – изменения потоковой энтальпии, кВт

**Рис. 1 – Сеточная диаграмма существующего в настоящее время теплоэнергетической системы производства карбамида на агрегате АК-70**

В работе [7] показано, что при минимальной разности температур  $\Delta T_{\min} = 5^\circ\text{C}$ , горячие утилиты приобрели значение, равное  $Q_{H\min} = 2941,6$  кВт, что на 43% меньше, чем процесс получает от утилитной системы в настоящее время. Холодные утилиты уменьшаются на 19% с  $Q_{C\min} = 9529,9$  кВт.

Таблиця 1 – Характеристика технологічних потоків процесу виробництва карбаміда

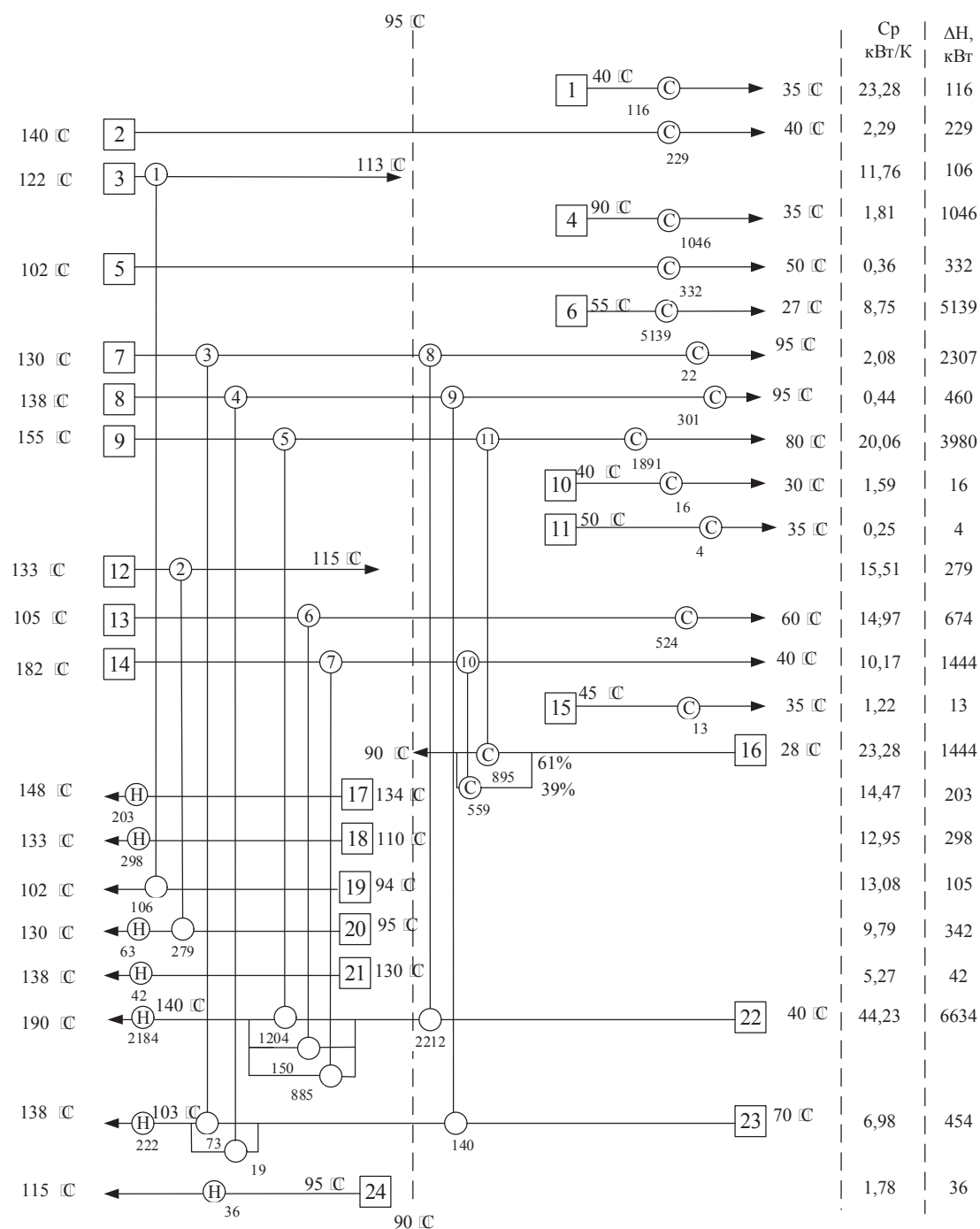
№	Наименование потока	Тип	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_t, ^\circ\text{C}$	G, кг/ч	G, кг/с	$C_p$ , кДж/(кг·град)	CP, кВт/К	$\Delta H$ , кВт
1	Аммиак на синтез-1 (до насоса)	гор	40	35	16765	4,66	5,00	23,28	116,42
2	CO <sub>2</sub> после 4й ступ. комп.	гор	140	40	9487	2,64	0,87	2,29	229,27
3	Газы дист. 1 в 32а	гор	122	113	21171	5,88	2,00	11,76	105,86
4	Газы в конд. 27	гор	90	35	3104	0,86	2,10	1,81	99,59
	конденсация		35	35			$\Gamma$ (кДж/кг)=	1223,10	946,72
5	Газы из 24 в 39	гор	102	50	608	0,17	2,12	0,36	18,62
	конденсация		50	50			$\Gamma$ (кДж/кг)=	1852,94	313,10
6	Газы в конд. 14	гор	55	27	14714	4,09	2,14	8,75	244,91
	конденсация		27	27			$\Gamma$ (кДж/кг)=	1197,41	4894,12
7	Втор. пар из 122	гор	130	95	3992	1,11	1,88	2,08	72,96
	конденсация		95	95			$\Gamma$ (кДж/кг)=	1981,32	2234,54
8	Втор. пар из 126	гор	138	95	903	0,25	1,77	0,44	19,09
	конденсация		95	95			$\Gamma$ (кДж/кг)=	1758,34	441,22
9	Парожид. из гидрол.	гор	155	80	38000	10,56	1,90	20,06	1504,17
	конденсация		80	80			$\Gamma$ (кДж/кг)=	2013,00	2475,83
10	Ам. вода из 312 в 31	гор	40	30	1382	0,38	4,13	1,59	15,85
11	Раствор азотн. кисл. в К-6	гор	50	35	288	0,08	3,18	0,25	3,82
12	Раствор в 104	гор	133	115	12863	3,57	4,34	15,51	279,12
13	Раствор из 104 в 95	гор	105	60	12863	3,57	4,19	14,97	673,67
14	Конд. В 13	гор	182	40		0,00	4,19	10,17	1443,65
15	Конд. Соков. Пара в 312	гор	45	35	1047	0,29	4,19	1,22	12,19
16	Аммиак на синтез-2	хол	28	90	16765	4,66	5,00	23,28	1443,65
17	Жид. фаза из дист. 1 в 8	хол	134	148	21182	5,88	2,46	14,47	202,64
18	Жид. фаза из дист. 2 в 20	хол	110	133	21000	5,83	2,22	12,95	297,85
19	Жид. фаза из 21 в 24	хол	94	102	18398	5,11	2,56	13,08	104,66
20	Жид. фаза из 120 в 122	хол	95	130	16234	4,51	2,17	9,79	342,49
21	Раствор карб. в 126	хол	130	138	12242	3,40	1,55	5,27	42,17
22	Сок. конд. в 318	хол	40	190	38000	10,56	4,19	44,23	6634,17
23	Раствор из 50 в 42	хол	70	135	11317	3,14	2,22	6,98	453,60
24	Раств. Карб. из 68 в 34	хол	95	115	4000	1,11	1,60	1,78	35,56

Для того чтобы синтезировать интегрированную систему теплообмена рассматриваемых процессов построим сеточную диаграмму технологических потоков с указанием локализации пинча [8].

На рисунке 2 представлена сеточная диаграмма для проекта реконструкции теплообменной сети. Размещения теплообменных аппаратов связывает технологические потоки с наибольшими тепловыми нагрузками. Минимальная разность температур между теплоносителями на теплообменном оборудовании для вертикального теплообмена равна  $\Delta T_{\min} = 5 ^\circ\text{C}$ .

Тепловая интеграция выполняется для двух энергетически независимых подсистем ниже и выше пинча [9]. В подсистеме 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. Аналогично ниже пинча все холодные потоки должны быть приведены к своей температуре, в результате взаимодействия с горячими потоками [10].



$C_p$  – потоковая теплоемкость, кВт/К;  $\Delta H$  – изменения потоковой энтальпии, кВт;  
 1-11 – рекуперативные теплообменные аппараты; С, Н – утилитные теплообменные аппараты

**Рис. 2 – Сеточная диаграмма процесса производства гранулированного карбамида на агрегате АК-70**

С помощью методов пинч-проектирования можно создать проект реконструкции для процесса производства гранулированного карбамида. Энерготехнологическая схема процесса гранулированного карбамида на агрегате АК-70 после реконструкции представлена на рисунке 3.

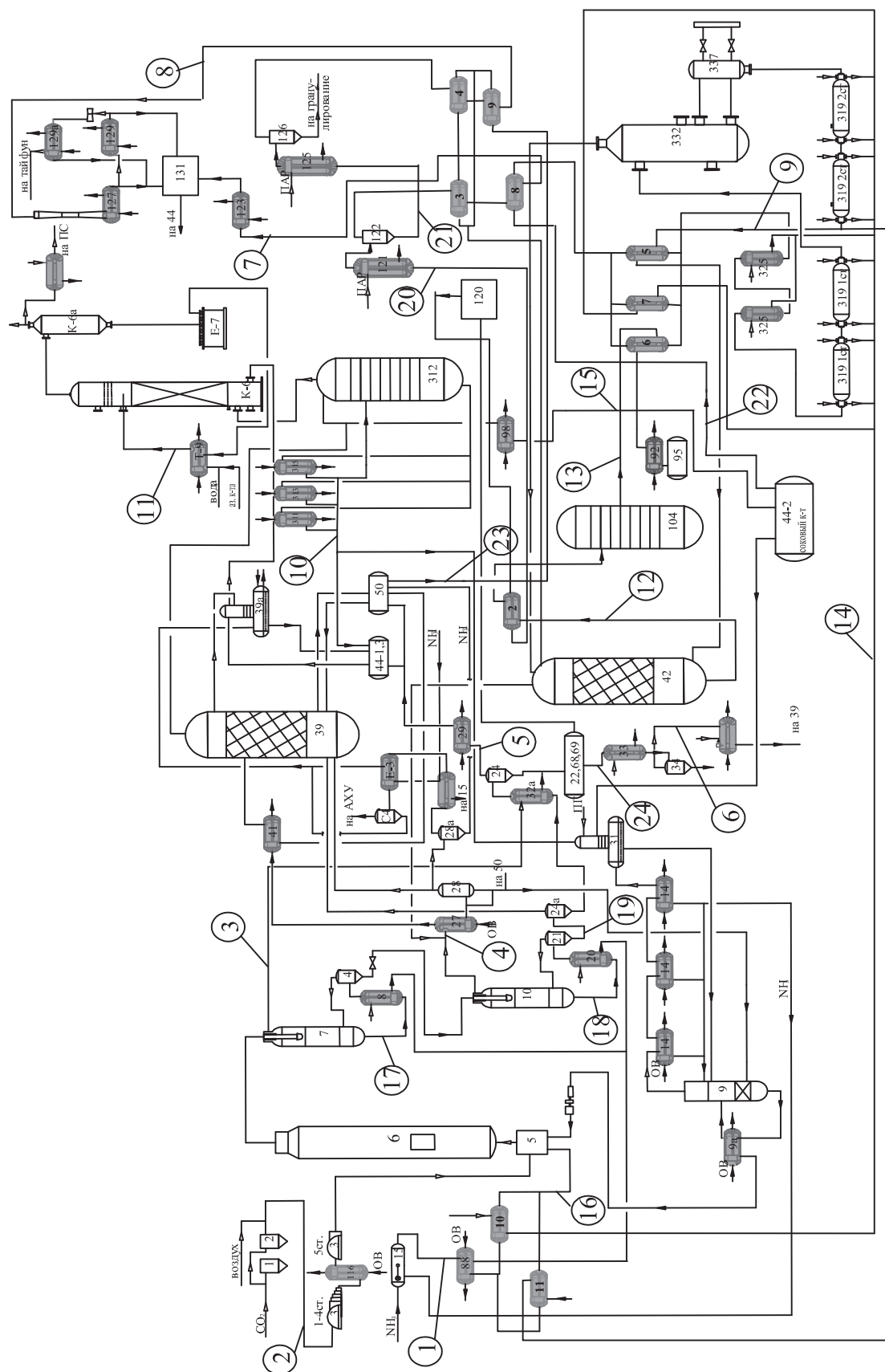


Рис. 3 – Проект реконструкції процесу гранулювання карбаміда в агрегатах АК-70

Наглядно рассмотреть энергопотенциал реконструированной энерготехнологической схемы и возможную экономию энергии можно с помощью таблицы 2.

**Таблица 2 – Энергопотребление и рекуперация системы теплообмена**

	Существующий процесс	Интегрированный процесс	Экономия
$\Delta T_{min}$ , °C	36	5	–
Мощность рекуперации, кВт	4383	6615	–
Горячие утилиты, кВт	5174,1	2941,6	2232,5
Холодные утилиты, кВт	11762	9529,9	2232,1
Затраты на энергию, млн. долл.США/год	16,76	10,28	6,48

**Выводы.** В результате применения пинч-методов получена новая система теплообмена и представлена работоспособная, экономически выгодная энерготехнологическая схема. Получена сравнительная характеристика существующего процесса производства гранулированного карбамида и интегрированного процесса. Показано, что теплоэнергетическая интеграция процесса позволит снизить энергопотребление горячих утилит на 43% по горячим и 19% по холодным утилитам. Экономический потенциал энергосбережения, доступный интеграции процессов, равен 6,48 млн. долл. США/год.

#### Литература

1. Мешалкин В.П. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем / В.П. Мешалкин, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. –412с.
2. Капустенко П.А. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы / П.А. Капустенко, А.К. Кузин, Е.Л. Макаровский, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л.М. Ульев, Е.Б. Черная.– Харьков: ООО Издательский дом «Вокруг цвета», 2004.–312 с.
3. Ульев Л.М. Теплоэнергетическая интеграция газофракционирующей установки / Л.М. Ульев, Е.В. Поливода// Вестник НТУ «ХПИ» – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – №21. – с. 97-104
4. Tovazshneanski L.L. Energy Integration of the Early Crude Oil Unit with Take Into Account Different regime / L.L. Tovazshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, M.V. Tarnovsky // Chemical Engineering Transaction. – 2005 – Vol. 7. – p. 103–108.
5. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Bumbac G.// 1th Conference on process integration, modeling and optimization for energy saving and pollution reduction. PRES'01. Chemical engineering translations, 2001. – Vol. 2. –p. 489-492.
6. 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
7. 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.
8. Nordman R. New process integration methods for heat – saving retrofit projects in industrial systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Chalmers University of Technology / Roger Nordman. – Goteborg, Sweden, – 2005. – 77 p.
9. 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
10. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П. А. Капустенко, Л. М. Ульев. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.