

Історія НТУ «ХПІ» у видатних особистостях



ТОВАЖНЯНСЬКИЙ
Леонід Леонідович

До 75-річчя з дня народження

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

ТОВАЖНЯНСЬКИЙ
Леонід Леонідович

До 75-річчя з дня народження

Монографія

За загальною редакцією професора А. І. Грабченка
та професора В. Є. Веда

Харків НТУ «ХПІ» 2008

Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, П. А. КАПУСТЕНКО, канд. техн. наук,
Л. М. УЛЬЕВ, С. А. БОЛДЫРЕВ, А. Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, Харьков, Украина

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА АММИАЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СЫРО-МОЛОЧНОГО ЗАВОДА

Використання додаткового компремування технологічного газового потоку дозволило поглибити інтеграцію теплообмінної системи у технологічний цикл і створити систему для рекуперації низкопотенціальної теплової енергії.

Введение

В настоящее время удельное потребление энергии на промышленных предприятиях Украины значительно превышает показатели высокоразвитых стран. Это является следствием того, что заводы бывшего СССР проектировались во время низких цен на энергоносители. Поэтому не уделялось должного внимания рекуперации тепловой энергии, и, в том числе, использованию низко потенциальных тепловых потоков, вследствие чего в настоящее время предприятия Украины работают не в оптимальном режиме из-за значительного повышения цен на энергоносители, что, в свою очередь, отражается на себестоимости выпускаемой продукции. Предприятия молочной промышленности не являются исключением в данной ситуации.

Одним из методов сокращения энергозатрат являются методы интеграции процессов с применением высокоэффективного теплообменного оборудования для рекуперации энергии внутри промышленного предприятия.

Пластинчатые теплообменные аппараты широко применяются в различных производственных процессах, в том числе в сахарной, спиртовой, химической промышленности, в производствах по переработке животноводческого сырья, в холодильной технике и жилищно-коммунальном хозяйстве. Пластинчатые теплообменные аппараты и спиральные теплообменники установлены и успешно работают в отделениях пастеризации, охлаждения молока, подогрева сахарного сока и сиропа, как конденсаторы холодильных машин и т.д.

Наиболее распространенной конструкцией пластинчатых теплообменников являются аппараты разборного типа. Они высокоэффективны, просты в обслуживании, компактны, гибкие в переналадке. Противоточная конструкция позволяет достигнуть недорекуперации на конце теплообменника до 1-2 градусов.

Пинч-анализ и интеграция

В настоящей работе проведено обследование системы теплоснабжения и системы технологического охлаждения сыро-молочного комбината с целью их дальнейшей интеграции для снижения энергозатрат.

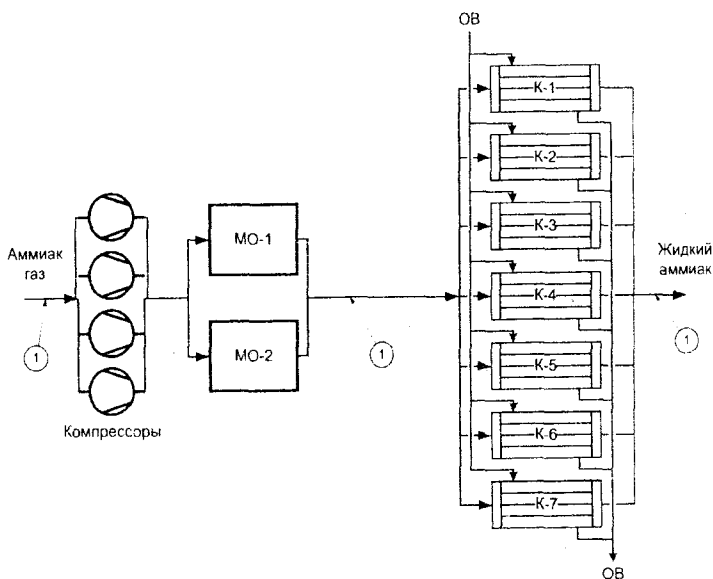


Рис. 1 – Технологическая схема охлаждения и конденсации паров аммиака в аммиачном отделении. МО-1, 2 – маслоотделители; ОВ – охлаждающая вода оборотного цикла; К-1 – К-7 – конденсаторы.

Приведем краткое описание технологических потоков и оборудования в обследованных отделениях. Поток паров аммиака поступает в компрессорное отделение. В компрессорном отделении происходит сжатие паров хладагента до $10-15 \text{ кг/см}^2$. Из компрессорного отделения аммиак с температурой $100-130 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлением $10-15 \text{ кг/см}^2$ направляется через два маслоотделителя в блок конденсаторов (рис. 1), где происходит охлаждение, конденсация и переохлаждение жидкого аммиака.

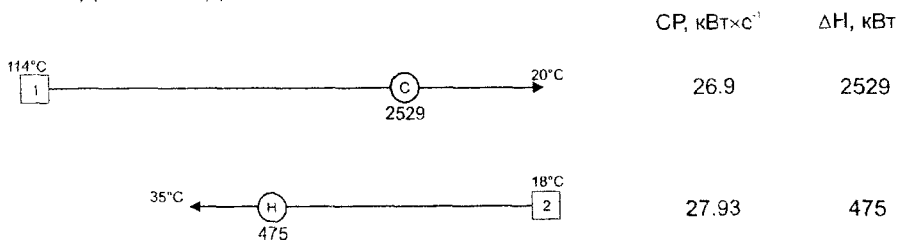


Рис. 2 – Сеточная диаграмма системы потоков котельной и аммиачного отделения в настоящее время

Сеточная диаграмма существующей системы технологических потоков аммиачного отделения и потоков, доступных для интеграции в систему теплоснабжения в настоящее время, показана на рис. 2. Здесь мы видим отсутствие какой-либо интеграции. Технологические потоковые данные, экстрагированные в процессе обследования, собраны в таблицу 1.

Таблица 1 – Данные для существующей схемы

№	Название потока	Тип	TS, °C	TT, °C	G, т/ч	C, кДж/кг·K	г, кДж/кг	CP, кВт/К	ΔH, кВт
1.1	Охлаждение газообразного аммиака	гор	114	28	6,22	3,25		5,615	482,91
1.2	Конденсация аммиака	гор	28	28	6,22		1146		1980,03
1.3	Охлаждение жидкого аммиака	гор	28	20	6,22	4,75		8,207	65,66
2	Вода на ХВО	хол	18	35	24,00	4,190		27,933	474,87

С помощью этих данных мы построим составные кривые для существующего процесса и его тепловой системы (рис. 3), на которых хорошо видны необходимые утилитные нагрузки для обследуемой системы технологических потоков.

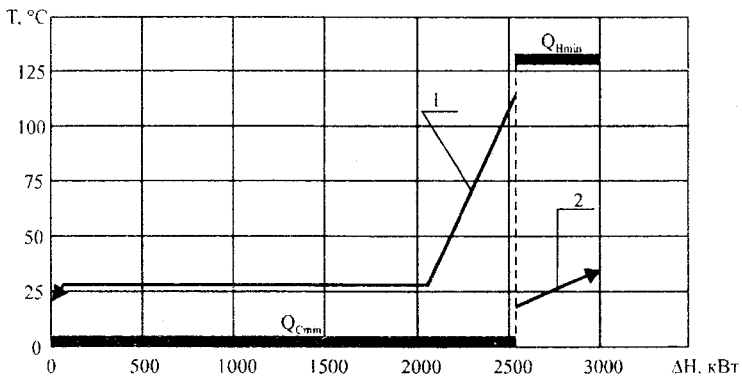


Рис. 3 – Составные кривые системы технологических потоков котельной и компрессионного отделения до интеграции. 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; $Q_{Hmin} = 475$ кВт – горячая утилита; $Q_{Cmin} = 2529$ кВт – холодная утилита.

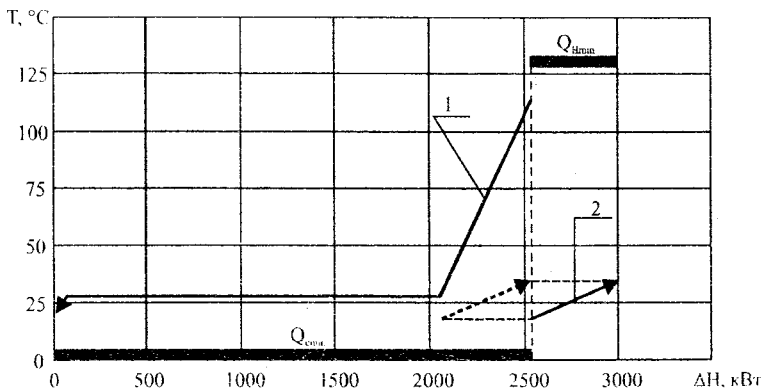


Рис. 4 – К возможности интеграции потоков котельной и аммиачного отделения

Анализ составных кривых показывает возможность интеграции потоков котельной, в частности потока воды на химводоочистку (ХВО). Мощность необходимую для этого потока вполне можно получить от паров аммиака (рис. 4), но составные кривые (рис. 3) также показывают наличие большого количества низкопотенциальной теплоты, которая в настоящее время отводится от системы охлаждающей водой. Данную теплоту можно использовать для интеграции и комбинированного нагрева воды на химводоочистку и потока теплоносителя для системы горячего водоснабжения всего предприятия.

Включив новый поток в тепловую интеграцию, заполним новую таблицу с потоковыми данными (табл. 2).

Таблица 2 – Данные для интегрированной схемы без дополнительной компрессии

№	Название потока	Тип	TS, °C	TT, °C	G, т/ч	C, кДж/кг·K	г, кДж/кг	CP, кВт/K	ΔH, кВт
1.1	Охлаждение газообразного аммиака	гор	114	28	6,22	3,250		5,615	482,91
1.2	Конденсация аммиака	гор	28	28	6,22		1146		1980,03
1.3	Охлаждение жидкого аммиака	гор	28	20	6,22	4,750		8,207	65,66
2	Вода на ХВО	хол	18	35	24,0 0	4,190		27,933	474,87
3	Вода на производство	хол	18	70	4,53	4,190		5,270	274,00

Для интеграции выбрана ΔT_{\min} в системе теплообмена, равной 2°C. Такую разность температур между используемыми теплоносителями вполне можно обеспечить на современных высокоэффективных компактных теплообменных аппаратах, например, на пластинчатых теплообменных аппаратах.

Составные кривые, построенные для потоковых данных из таблицы 2 и $\Delta T_{\min}=2^\circ\text{C}$ показывают возможность полного исключения горячих утилит из рассматриваемой системы потоков и возможность дополнительного подогрева сетевой воды. Всего в рассматриваемой системе, для выбранного ΔT_{\min} , возможная мощность тепловой рекуперации составляет величину $\sim 0,75$ МВт, из которых 0,47 МВт идет на подогрев воды для химводоочистки, а 0,27 МВт для подогрева сетевой воды.

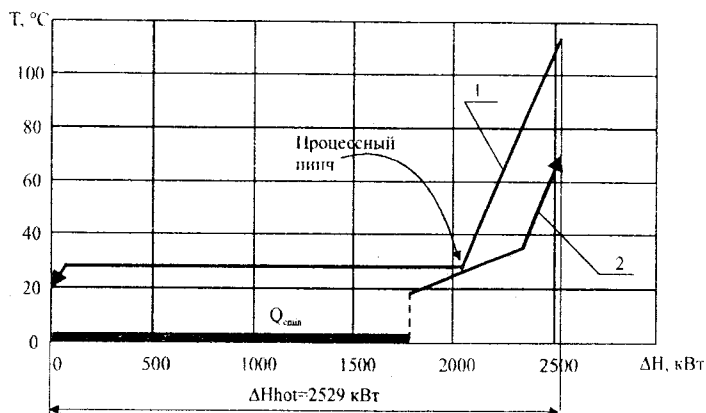


Рис. 5 – Составные кривые системы технологических потоков котельной и компрессионного отделения после интеграции без дополнительного компримирования. 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; $Q_{Hmin} = 0$ кВт – горячая утилита; $Q_{Cmin} = 1780$ кВт – холодная утилита; ΔH_{hot} – общее потоковое теплосодержание горячей составной кривой.

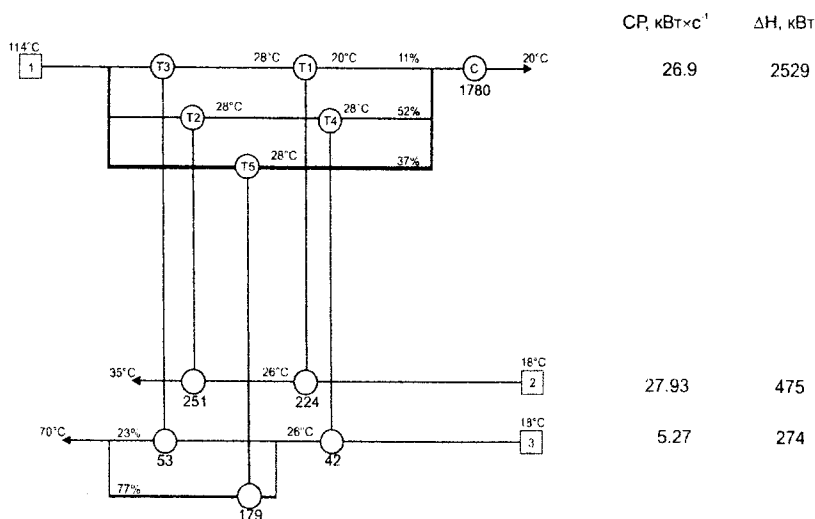


Рис. 6 – Сеточная диаграмма интегрированной системы потоков котельной и аммиачного отделения: Т – теплообменные аппараты; С – холодильник; CP – потоковая теплоемкость; ΔH – потоковая энтальпия.

Сеточная диаграмма системы теплообмена, удовлетворяющая составным кривым (рис. 5), приведена на рисунке 6. Для достижения энергетических целей, определенных составными кривыми, понадобится 5 рекуперативных теплообменных аппаратов. Технологическая схема системы теплообмена, удовлетворяющая сеточной диаграмме (рис. 6), показана на рисунке 7.

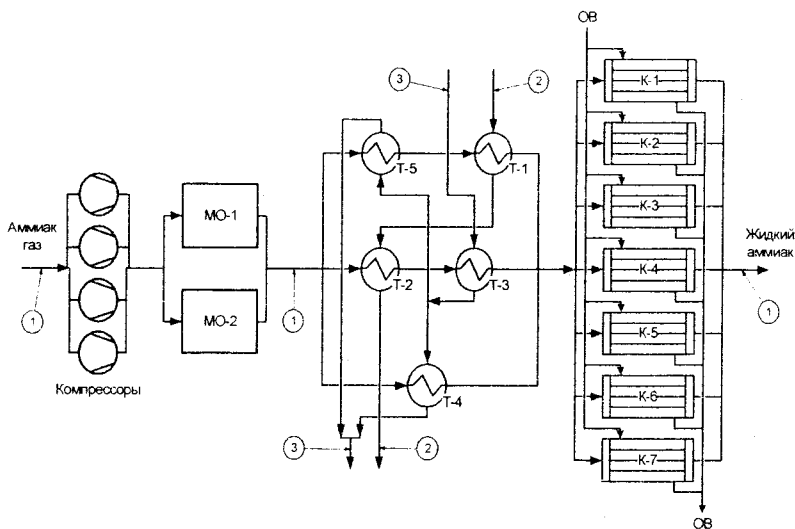


Рис. 7 – Технологическая схема системы теплообмена котельной и аммиачного отделения после интеграции без дополнительного компримирования. МО-1, 2 – маслоотделители; ОВ – охлаждающая вода оборотного цикла; К-1 – К-7 – конденсаторы; Т-1 – Т-5 – теплообменники.

Краткая характеристика теплообменных аппаратов, планируемых к использованию в технологической схеме, приведенной на рисунке 7, дана в таблице 3.

Таблица 3 – Оценочные технические данные теплообменных аппаратов для теплообменной системы без дополнительного компримирования

№	Горячий поток			Холодный поток			ΔT_{\min}	Q, кВт	S, м ²
	№	T _{вх}	T _{вых}	№	T _{вх}	T _{вых}			
T1	1	28	20	2	18	26	2	224	10,22
T2	1	114	28	2	26	35	2	251	17,28
T3	1	114	28	3	26	70	2	53	8,68
T4	1	28	28	3	18	26	2	42	7,04
T5	1	114	28	3	26	70	2	179	21,60
								Всего	64,82

Проводя дополнительный анализ составных кривых для исследуемой системы потоков (рис. 5), мы видим, что локализация пинча на горячей температуре 28°C – температуре конденсации аммиака лимитирует расходное теплосодержание сетевого теплоносителя, который можно было бы использовать для отопления и горячего водоснабжения. Если бы нам удалось поднять температуру конденсации, хотя бы части потока аммиака, то можно было бы увеличить расходную энтальпию теплоносителя, идущего на нужды предприятия.

Увеличить температуру конденсации паров аммиака можно повысив равновесную температуру части потока, т.е. применив дополнительное компримирование. Параметры потока при его компримировании находим с помощью математического обеспечения, разработанного для интеграции технологических потоков в химико-технологических системах. В результате было определено, что для практического обеспечения предприятия теплом и горячей водой, т.е. для подогрева сетевой воды с расходом ~ 20 т/ч до 70°C необходима дополнительная компрессия ~ 2,3 т/ч газообразного аммиака с 11 ат до 26 ат и температурой конденсации ~ 60°C. Результаты исследования приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные для интегрированной схемы с дополнительной компрессией

№	Название потока	Тип	TS, °C	TT, °C	G, т/ч	C, кДж/кг·К	г, кДж/кг	CP, кВт/К	DH, кВт
1.1	Охлаждение газообразного аммиака	гор	11 4	28	3,914	3,250		3,533	303,88
1.2	Конденсация аммиака	гор	28	28	3,914		1146		1245,9 6
1.3	Охлаждение жидкого аммиака	гор	28	20	3,914	4,750		5,164	41,31
2.1	Охлаждение газообразного аммиака	гор	14 6	60	2,306	4,275		2,738	235,50
2.2	Конденсация аммиака	гор	60	60	2,306		986,2		631,72
2.3	Охлаждение жидкого аммиака	гор	60	20	2,306	4,935		3,161	126,45
3	Вода на ХВО	хол	18	35	24,000	4,190		27,933	474,87
4	Вода на производство	хол	18	70	19,933	4,190		23,200	1206,4 0

Составные кривые, построенные для потоковых данных из таблицы 4, для уже выбранного $\Delta T_{\min}=2^\circ\text{C}$ показывают, что задача проектирования теплообменной системы, в данном случае, представляет двухпичковую проблему [1] (рис. 8). Составные кривые также показывают, что в системе с дополнительным компримированием аммиака мощность рекуперации составляет $Q_{\text{гс}} \approx 1,7$ МВт, что почти в 2,3 раза больше, чем в системе без дополнительного компримирования (рис. 5).

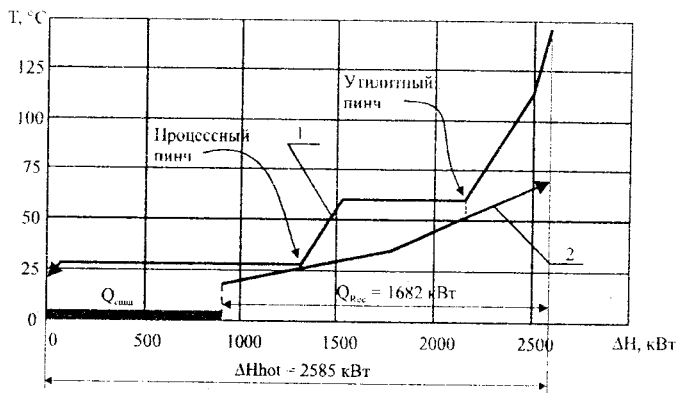


Рис. 8 – Составные кривые системы технологических потоков котельной и компрессионного отделения после интеграции с дополнительным компримированием. 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; $Q_{Hmin}=0$ кВт – горячая утилита; $Q_{Cmin}=903$ кВт – холодная утилита; $Q_{Rec} = 1682$ кВт – мощность рекуперации в системе теплообмена; ΔH_{hot} – общее потоковое теплосодержание горячей составной кривой.

Мощность, которая должна быть отведена от системы горячих потоков, в данном случае равна $\Delta H_{гор}=2,585$ МВт, что больше мощности, отводимой в настоящее время на 56 кВт, это и есть та величина мощности, которая будет затрачиваться на насосах дополнительного компримирования.

Для того чтобы синтезировать сеточную диаграмму теплообменной системы, которая будет удовлетворять составным кривым на рисунке 8, изобразим сначала популяцию технологических потоков, участвующих в тепловой интеграции с локализацией утилитного и процессного пинчей (рис. 9). Эти два пинча делят систему потоков на три подсистемы, в каждой из которых мы будем строить свою теплообменную систему, запрещая при этом перенос энергии через оба пинча.

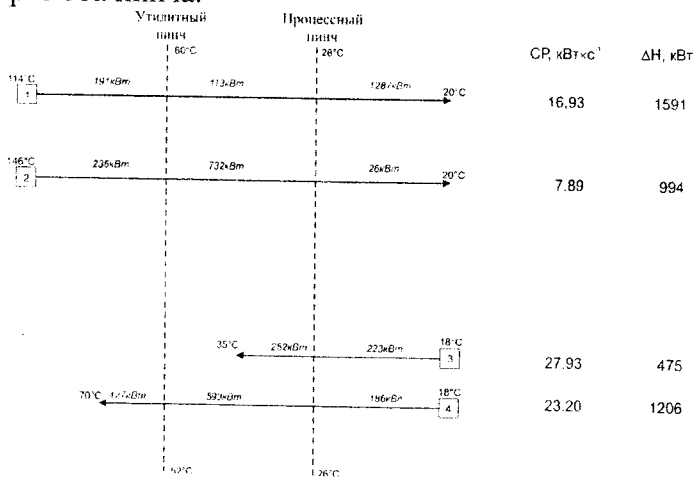


Рис. 9 – Сеточная диаграмма системы технологических потоков, участвующих в интеграции с дополнительным компримированием. Штриховые линии показывают деление на пинча. CP – потоковая теплоемкость; ΔH – потоковая энтальпия.

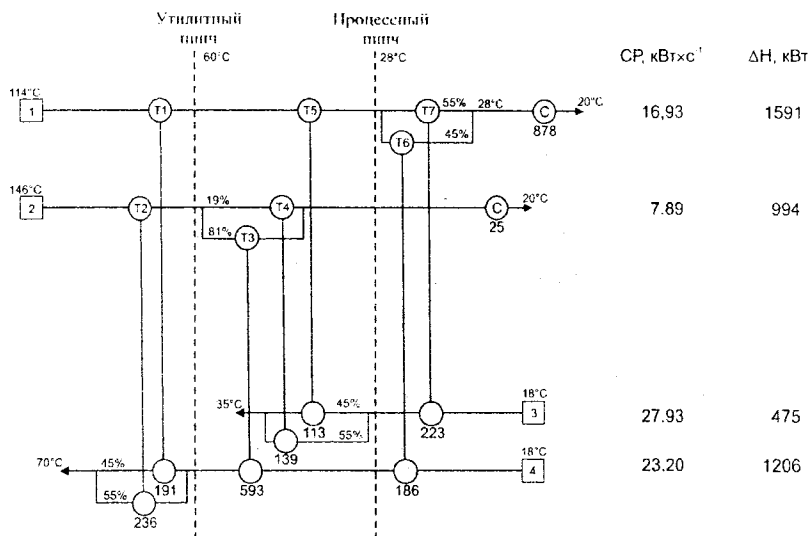


Рис. 10 – Сеточная диаграмма системы технологических потоков и системы теплообмена при интеграции с дополнительным компримированием. Штриховые линии показывают деление на пинчах. Т – теплообменные аппараты; С – холодильник; СР – потоковая теплоемкость, ΔН – потоковая энтальпия.

В результате мы получаем сеточную диаграмму теплообменной сети, представленную на рисунке 10. Здесь мы можем заметить несколько петель, но разрывать их с целью упрощения системы нам кажется нецелесообразным технически и экономически, поскольку в состав всех петель входят теплообменные аппараты, в которых теплоносителями являются не только различные фазовые состояния вещества, но и его расход.

В данной системе 7 теплообменных рекуперативных аппаратов с общей площадью поверхности теплообмена равной 69 м^2 , что всего на 5 м^2 больше, чем в сети, показанной на рисунке 7. Краткая техническая характеристика этих аппаратов приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Оценочные технические данные теплообменных аппаратов для теплообменной системы с дополнительным компримированием

№	Горячий поток			Холодный поток			ΔT_{\min}	Q, кВт	S, м^2
	№	$T_{\text{вх}}$	$T_{\text{вых}}$	№	$T_{\text{вх}}$	$T_{\text{вых}}$			
T1	1	114	60	4	52	70	8	191	11,44
T2	2	146	60	4	52	70	8	236	7
T3	2	60	28	4	26	52	2	593	9,38
T4	2	60	28	3	26	35	2	139	3,87
T5	1	60	28	3	26	35	2	113	21,12
T6	1	28	28	4	18	26	2	186	7,28
T7	1	28	28	3	18	26	2	223	9,24
								Всего	69,33

Технологическая схема теплообменной системы рекуперативных теплообменных аппаратов в случае с дополнительным компримированием потока аммиака показана на рисунке 11.

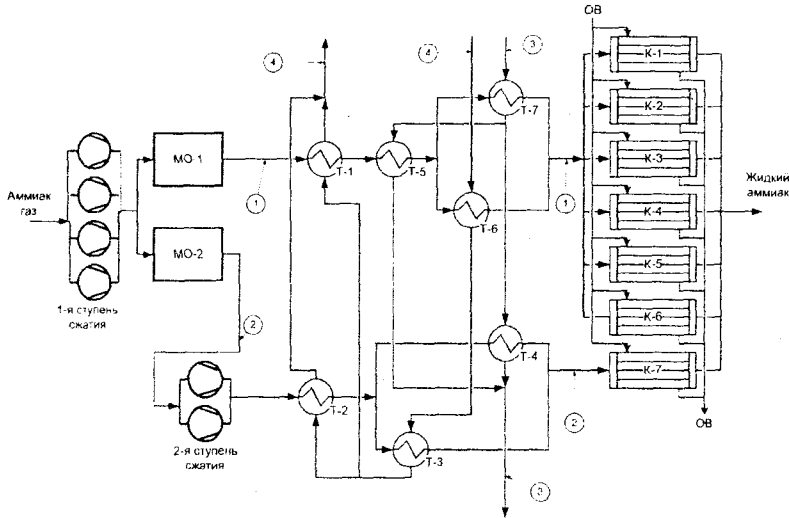


Рис. 11 – Технологическая схема системы теплообмена котельной и аммиачного отделения после интеграции с дополнительным компримированием.

МО-1, 2 – маслоотделители; ОВ – охлаждающая вода оборотного цикла; К-1 – К-7 – конденсаторы; Т-1 – Т-5 – теплообменники.

Для реализации предлагаемого проекта реконструкции были проведены расчеты и выбор теплообменного оборудования, в соответствии с параметрами предлагаемой технологической схемы (рис.11). Для достижения необходимых технологических параметров теплообменной системы, рекомендуется использовать диффузионно-сварные пластинчатые теплообменные аппараты типа Alfa Nova производства Alfa Laval. Общий вид и график зависимости рабочего давления от температуры для теплообменника Alfa Nova показан на рисунке 12.

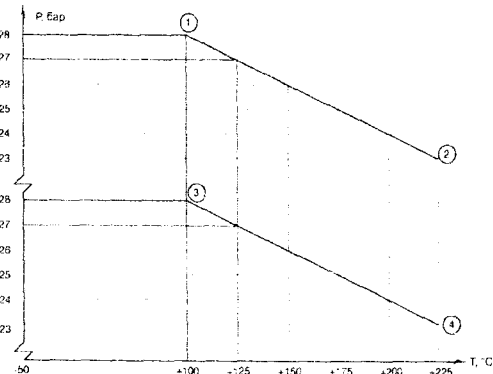
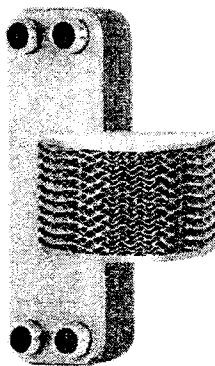


Рис. 12 – Общий вид и график зависимости рабочего давления от температуры теплообменника Alfa Nova

Стандартные технические характеристики теплообменника Alfa Nova NSH76 представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики теплообменника Alfa Nova NSH76

Стандартные данные	
Минимальная рабочая температура	- 50°C
Максимальная рабочая температура	см. рис. 11
Минимальное рабочее давление	вакуум
Максимальное рабочее давление	см. рис. 11
Объем канала	0,25 л
Максимальный расход	34 м ³ /ч
Стандартные материалы	
Крышка пластин	Нержавеющая сталь AISI 316
Соединительные коллекторы	Нержавеющая сталь AISI 316
Пластины	Нержавеющая сталь AISI 316
Сварочный материал	Нержавеющая сталь AISI 316

Внедрение данной системы позволит обеспечить нагрев воды для хим-водоочистки с расходом 24 т/ч и для нужд производства с расходом ~20 т/ч, затрачивая дополнительно всего ~ 56 кВт мощности, т.е. затрачивая 56 кВт электроэнергии, без учета к.п.д двигателя, мы увеличиваем мощность полезной рекуперации тепловой энергии на величину ~1 МВт, а происходит это за счет того, что при дополнительном компримировании мы сдвинули область процессного пинча, дав тем самым возможность увеличить угол наклона холодной составной кривой (рис. 8).

Заключение

Дополнительное компримирование потока аммиака увеличивает потенциал энергосбережения. Проведен расчет теплообменного оборудования для предлагаемой интегрированной теплообменной системы. По результатам расчета подобрано теплообменное оборудование, позволяющее поддерживать необходимый технологический режим. Срок окупаемости предложенно-го проекта реконструкции составит срок не превышающий 1 года.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейской Комиссии (Проект SHERHPA, контракт No COLL-СТ-2004-500229).

Список литературы: 1. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульянов Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков: ХГПУ. 2000. 457 с.
2. Щербин В.А., Гинберг Я.И. Холодильные станции и установки. – М.: Химия. 1976 г. – 376 с.