

Було проведено оцінку можливостей використання теплообмінного обладнання для проектування рекуперативної сітки. Для забезпечення дотримання значення  $\Delta T_{\min} = 5$  °С необхідно використовувати вискоелективні пластинчаті теплообмінні апарати розбірного та напіврозбірного типу. Напіврозбірні пластинчаті конденсатори нового покоління Alfa Cond можуть ефективно застосовуватися замість барометричних конденсаторів змішування, які є типовим обладнанням випарних установок на Україні та країні СНД. Встановлення апаратів Alfa Cond дозволить знизити дебіт охолоджувальної води, спростити регулювання барометричної конденсаційної системи. Можливе використання цих апаратів для підігріву початкового розчину, що дозволить збільшити значення теплової енергії рекуперації випарних установок [11].

**Висновки.** Для оптимального значення  $\Delta T_{\min}$  методами пінч-проекування синтезована технологічна схема теплообмінної системи. За результатами досліджень була спроектована схема реконструкції двокорпусної випарної установки. (рис. 6).

Впровадження рекуперативної теплообмінної системи установки дозволить знизити витрати гарячих утиліт, що споживається процесом на 1369 кВт, та витрати холодних – на 1223 кВт.

### Література

1. Якубович Ф.Ф. Производство хлебного кваса, М., 1982 г.
2. Производство концентрата квасного сусла и кваса из него. Общая информация, М., 1985 г.
3. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков. НТУ «ХПИ». 2000. – 456 с.
4. Товажнянский Л.Л., Капустенко П. А., Ульев Л. М., Болдырев С. А., Мельниковская Л. А., Терещенко В. Н. "Пинч-интеграция процесса концентрирования ортофосфорной кислоты" Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал.– Харків.– НТУ «ХП».– 2008.– №2.– С. 9-17
5. Капустенко П. А., Перевертайленко А. Ю., Хавин Г. Л., Арсеньева О. "Анализ применения пластинчатого теплообменного оборудования в процессе производства экстракционной фосфорной кислоты" Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал.– Харків.– НТУ «ХП».– 2008.– №2.– С. 130-145

УДК 66.045.01

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО УСТАНОВЛЕННЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ САХАРНОГО СОКА

**Арсеньева О.П., канд. техн. наук, доцент, Бабак Т.Г., доцент  
Национальный технический университет «ХПИ»  
Демирский А.В., науч. сотр., Хавин Г.Л., канд. техн. наук, доцент  
АО «Содружество-Т», г. Харьков**

*Рассмотрена задача замены кожухотрубчатых теплообменников на пластинчатые в системе последовательно установленных подогревателей сахарного сока перед выпариванием. Предложено перевести один из теплообменников на обогрев конденсатом первого корпуса. Расчет пластинчатых аппаратов производится по критерию минимума приведенных затрат. Показано, что в течение сезона, несмотря на некоторое увеличение приведенных затрат, за счет снижения расхода пара достигается существенная экономия средств.*

*The problem of shell-and-tube heat exchangers replacement by plate units in the system of serially installed heaters of sugar juice before the evaporation is examined. It is proposed to heat one of the heat exchangers by the condensate from the first vessel. The calculation of plate units is carried out under the criteria of input costs minimization. It is shown, that during the season, despite of some increase of the input costs, it is achieved the significant savings of funds at the expense of flow rate decreasing.*

**Ключевые слова:** пластинчатые теплообменники, нагрев сахарного сока, приведенные затраты.

Для различных производств пищевой и перерабатывающей промышленности в технологическом процессе предусмотрен нагрев или охлаждение сырья (полуфабриката) в последовательно установленной совокупности подогревателей. Существующая тенденция замены кожухотрубчатых теплообменников на более эффективные пластинчатые, требует создания методики проектирования группы установленных

последовательно пластинчатых аппаратов. Решение такой задачи является актуальным с технической стороны и позволяет провести энергосберегающие мероприятия в условиях производства.

Основополагающими работами в принципиальной постановке задачи комплексной оптимизации систем теплообменного оборудования являются работы [1,2], учитывающие экономические аспекты выбора кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Главной идеей в такой постановке был расчет теплообменника или системы теплообменников по приведенным затратам. Однако в практике проектирования представленные методы не нашли своего применения главным образом из-за несоответствия экономических критериев и рыночных отношений. С экономических позиций с учетом замены оборудования на новое более производительное и расчета экономического эффекта, такая задача была сформулирована в работах [3,4]. Практически, подавляющее большинство цен и прейскурантов для оценки капитальных затрат относились к единице веса. Это вызывало серьезные затруднения при расчете коэффициентов, зависящих от величины поверхности, конструкции и материального исполнения аппарата. Необходимость модернизации и замены подогревателей соков на сахарных заводах на пластинчатые была достаточно полно обоснована как технически, так и экономически в работах [5,6]. Пластинчатые теплообменные аппараты, в отличие от кожухотрубчатых имеют значительно меньший вес и принципиально иной расчет стоимости в силу высокой унификации конструкции.

Одной из основных задач энергосбережения на сахарных заводах является максимальное использование теплового потенциала конденсатов ретурного и вторичных паров. В настоящей работе предложена схема предварительного нагрева очищенного сахарного сока перед выпариванием, где на первой ступени максимально используется теплота конденсата уходящего в котельную. Классическая схема 3-ступенчатого нагрева разработана под применение кожухотрубных скоростных многосекционных подогревателей, представленная на рис.1. В качестве греющего теплоносителя используется ретурный пар на 3-й ступени и вторичный пар 1-го и 2-го корпуса выпарной станции на 2-й и 1-й ступенях. Одним из недостатков секционных подогревателей является невозможность реализовать температурное сближение в аппарате менее  $10^{\circ}\text{C}$ . На такой температурный график и была ориентирована схема последовательного подогрева.

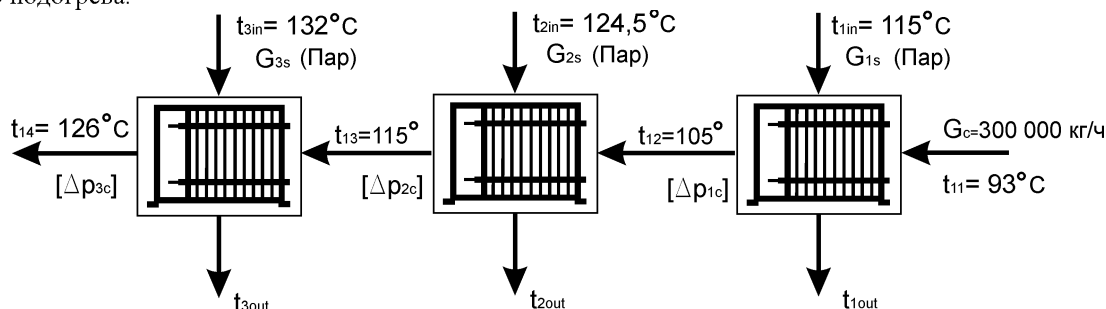


Рис. 1 – Температурный режим и расход трех последовательно установленных подогревателей по классической схеме

Пластинчатые теплообменники, в отличие от кожухотрубчатых могут работать с температурным сближением до  $1-2^{\circ}\text{C}$  и это их преимущество необходимо использовать при модернизации схемы подогрева. Кроме того, в технологической схеме имеется большое количество чистого конденсата с температурой  $112^{\circ}\text{C}$ , который необходимо вернуть в котельную без потерь за счет испарения. Учитывая вышесказанное, предложена схема, которой подогрев сока на первой ступени осуществляется конденсатом в пластинчатом теплообменнике, рис.2.

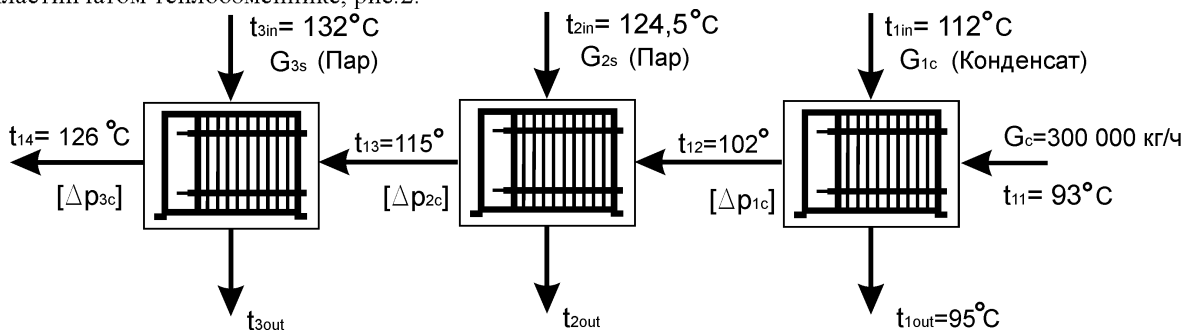


Рис. 2 – Температурный режим и расход трех последовательно установленных подогревателей с конденсатным нагревом на первой ступени

Задача расчета теплообменника заключается в определении минимальной поверхности теплообмена, удовлетворяющей заданным техническим условиям по передаче тепла и условиям по потерям давления, когда потери давления на прокачивание теплоносителей через аппарат не превышают заданных заранее. В такой постановке априори предусматривается задание фиксированного значения потерь давления при прохождении жидкостей через аппарат. В большинстве реальных приложений именно величина допустимых потерь давления определяет поверхность теплообмена рассчитанного пластинчатого аппарата. При модернизации имеющегося оборудования (замене теплообменника) эта величина субъективно определяется из мощности насосов обеспечивающих подачу теплоносителей. При проектировании нового оборудования возможности варьирования величиной допустимых потерь давления несколько шире, но по-прежнему выбор является субъективным. Потери давления в пластинчатом теплообменнике, прежде всего, зависят от скорости движения теплоносителей в каналах и конструктивными особенностями пластин. Заранее предугадать какой тип пластин будет наиболее подходить при заданных условиях довольно сложно. Поэтому при проектировании руководствуются либо известной мощностью насосного оборудования или используют методики, позволяющие найти компромисс между капитальными и эксплуатационными затратами.

Для расчета теплообменных аппаратов использовалась методика, приведенная в работах [7,8], которая основана на расчете теплообменника исходя из минимума приведенных затрат

$$C_{mc} = C_{use} + E \cdot C_{he}, \quad (1)$$

где  $C_{use}$  — стоимость прокачивания греющего и нагреваемого теплоносителей через аппарат в течение предполагаемого срока эксплуатации и эксплуатационные расходы на поддержание работоспособности теплового узла, грн.;

$C_{he}$  — стоимость пластинчатого теплообменника с учетом налога на добавленную стоимость, доставкой, установкой и обвязкой, грн.;

$E$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, который обычно трактуется как величина обратная нормативному сроку окупаемости внедряемого оборудования.

В каждом конкретном случае коэффициент  $E$  в расчетах может принимать свое значение, как правило, эта величина берется равной 0,25 – 0,15, что соответствует сроку окупаемости от 4 до 6,7 лет [3].

Стоимость пластинчатого теплообменника заданной марки определяется как

$$C_{he} = C_{frame} + C_{pl} \cdot n,$$

где  $C_{frame}$  — стоимость рамы пластинчатого аппарата, включающая в себя стоимость неподвижной и подвижной плит, несущей и опорной балок, комплекта стяжных болтов и другие принадлежности;

$C_{pl}$  — стоимость одной пластины (с прокладкой) данного типоразмера в аппарате;

$n$  — число пластин в аппарате. В общем случае стоимость рамы теплообменника  $C_{frame}$  зависит от количества пластин, так как чем больше пластин, тем длиннее несущая и опорная балка, стяжные болты, однако этой разницей в стоимости будем пренебрегать, ориентируясь на некоторую среднюю величину.

Стоимость транспортных расходов на прокачивание теплоносителей можно рассчитать как стоимость электроэнергии

$$C_{tr} = (E_h + E_c) \cdot c_{ee},$$

где  $c_{ee}$  — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии для перекачивания греющего и нагреваемого теплоносителя;

$E_h, E_c$  — расход электроэнергии на прокачивание через теплообменник греющего и нагреваемого теплоносителя. Здесь и далее индексы  $h$  и  $c$  соответствуют греющему и нагреваемому теплоносителю.

Эксплуатационные расходы могут быть представлены в виде

$$C_{use} = C_{cl} + C_{da} + C_{other},$$

где  $C_{cl}$  — очистка и мойка пластин, дефектация и замена прокладок;

$C_{da}$  — разборка и сборка теплообменника;

$C_{other}$  — прочие расходы.

Для большинства теплообменных аппаратов, например кожухотрубных, эксплуатационные расходы учитываются через коэффициент амортизационных отчислений  $A_m$ , который принимается как доля от стоимости аппарата в целом. Чаще всего эта величина берется как  $A_m = 0,15$ . Однако, такое высокое значение отчислений на обслуживание для пластинчатых теплообменников является спорным и, по всей

видимости, эта величина должна быть функцией марки аппарата и количества пластин в пакете пластинчатого теплообменника.

Таким образом, задача свелась к расчету теплообменника данной марки с такой площадью теплопередающей поверхности, которая при заданной тепловой нагрузке и температурных режимах, обеспечит минимум приведенных затрат (1) и выполнение ограничений по потерям давления [7]. На эти позиции будем проектировать пластинчатые теплообменники М15М производства «Альфа Лаваль», геометрические параметры которых приведены в табл.1 [9].

**Таблица 1 – Геометрические параметры пластины теплообменника марки М15М производства «Альфа Лаваль»**

Пластина	Параметры					
	Высота гофры, мм	Ширина пластины, м	Эквивалентный диаметр, мм	Площадь пластины, м <sup>2</sup>	Площадь канала, 10 <sup>3</sup> м <sup>2</sup>	Приведенная длина, м
М15М	4,0	0,45	8,0	0,56	1,8	1,244

Рассчитанные оптимальные значения допустимых потерь давления для обеих схем по ступеням приведены в табл.2. В качестве данных для расчета эксплуатационных затрат принималось: время работы аппарата круглосуточное 24 ч; время работы в году 120 суток; стоимость 1 кВт·ч электроэнергии 0,68 грн, КПД насосов 70%;  $A_m = 0,025$ ,  $E = 0,25$ .

Стоимость пара при использовании для его получения природного газа принималась равной 37,45 € за 1 Гкал или 1 КДж =  $37,45 \cdot 10^{-6} / 4,1868 = 8,945 \cdot 10^{-6}$  € Расчет годовой стоимости пара  $C_s$ , грн для каждой ступени производился по формуле

$$C_s = G_s \cdot r_s \cdot 120 \cdot 24 \cdot 102,87 \cdot 10^{-6},$$

где  $G_s$  — расход пара, кг/ч;

$r_s$  — удельная теплота фазового перехода, КДж/кг; 1 € = 11,5 грн.

**Таблица 2 – Технологические и экономические параметры системы последовательно установленных подогревателей**

Ступень	Потери давления, КПа	Расход пара, кг/ч	Стоимость пара, тыс. грн	Капитальные затраты, тыс. грн	Эксплуатационные затраты, тыс. грн	Приведенные затраты, тыс. грн
Схема на рис.1						
1	78,4	6478	4251	46,08	22,3	68,38
2	78,0	5481	3552	46,28	22,2	68,48
3	77,6	6405	3916	45,84	22,1	67,90
Сумма	234,0	18364	11719	138,2	66,6	204,76
Схема на рис.2						
1	135,7	—	—	70,90	37,7	108,6
2	78,0	7126	4617	46,30	22,2	68,5
3	77,6	6405	3916	45,84	22,1	67,9
Сумма	291,3	13531	8533	163,04	82,0	245,0

Из табл.2 общая стоимость пара для схемы 1 составляет 11719 тыс. грн., для схемы 2 – 8533 тыс. грн., что составляет экономию 4833 кг/ч или в течение сезона сахароварения 3186 тыс. грн. При этом возрастают потери давления при прохождении сахарного сока через аппарат 1-й ступени, что может потребовать увеличения мощности установленного насосного оборудования. Кроме того, несколько возрастают капитальные и эксплуатационные и, как следствие, приведенные затраты во второй схеме по сравнению с классической. Рост капитальных затрат может быть большим, если понизить допускаемые потери давления по стороне сока. Это приведет к увеличению пакета пластин в аппарате и, следовательно, его стоимость. При этом эксплуатационные затраты на прокачивание сока несколько снизятся. Однако увеличение приведенных затрат несравнимо с тем экономическим эффектом, который достигается за счет экономии пара.

Выводы. Таким образом, сформулирована задача замены кожухотрубчатых теплообменников на пластинчатые в системе последовательно установленных подогревателей сахарного сока перед выпариванием. Перевод одного из теплообменников на обогрев конденсатом первого корпуса позволяет сущес-

твенно сэкономить греющий пар. Расчет пластинчатых аппаратов производится по критерию минимума приведенных затрат. Показано, что в течение сезона, несмотря на некоторое увеличение приведенных затрат, за счет снижения расхода пара достигается существенная экономия средств. Дальнейшим резервом для снижения расхода пара является замена паровых кожухотрубчатых подогревателей на пластинчатые с малой температурой сближения по греющей и нагреваемой стороне.

#### Литература

1. Каневец Г.Е. Теплообменники и теплообменные системы.– Киев: Наук. Думка, 1981.– 272 с.
2. Кафаров В.В., Перов В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем.– М.: Химия, 1974.– 210 с.
3. Лapidус А.С. Экономическая оптимизация химических производств. – М.: Химия, 1986.– 208 с.
4. Вегер Л.Л. Экономика научных исследований.– М.: Наука, 1981.– 192 с.
5. Эффективный нагрев продуктов – основа совершенствования теплоиспользования сахарных заводов / Колесников В.А., Аникеев А.Ю., Захаров С.А., Овсянников И.В. // Сахар, 2007.– №7.– С. 26–30.
6. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л. Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004.– 232 с.
7. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Оптимизация пластинчатого теплообменника // Пробл. машиностроения, 2011, т.13.– №1.– С. 37–46.
8. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Выбор оптимальных параметров двухступенчатых пластинчатых подогревателей // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2011.– №1.– С.95–103.
9. Математическое моделирование и оптимизация разборных пластинчатых теплообменников / Арсеньева О.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2009.– №2.– С. 17 – 25.
10. Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта EU project FP7-SME-2010-1-262205-INHEAT.

УДК 66.047

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ЯГОДНОГО СЫРЬЯ ПО МЕТОДУ ДИВЭ

**Малецкая К.Д., д.т.н., вед.н.с., Матюшкин М.В., к.т.н., с.н.с., Сильнягина Н.Б., н.с.  
Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины, г.Киев**

*Описаны основные предпосылки к созданию новой энергоресурсосберегающей технологии безотходной переработки ягод с мелкой косточкой по методу дискретно-импульсного ввода энергии. Представлены основные стадии обработки ягодного сырья.*

*The article represents basic background for creation new energy saving technology for waste-free processing of berries with small seeds by discrete-pulse input of energy method. The principal stages of the processing of berries raw materials are presented in article.*

**Ключевые слова:** дискретно-импульсный ввод энергии, диспергирование, гомогенизация, ягодное сырьё, энергоресурсосбережение.

В настоящее время является актуальным создание новых эффективных технологий в Украине, по получению пищевых продуктов на основе ягодного сырья в форме, которая предусматривает длительное хранение без существенных потерь биологически активных веществ, отвечающих за защитные свойства организма. Различные технологии по переработке натурального растительного сырья рассматриваются в ряде работ [1-4]. Также актуальным является решение проблемы использования всех составляющих растительного фруктово-ягодного сырья: растворимых и нерастворимых, содержащихся в них небольших семечек. Решение проблемы создания энергоэффективной безотходной переработки полноценного нефракционированного сырья в формы, которые способны сохранять длительное время практически без ухудшения своих первоначальных биохимических характеристик, предоставит возможность потреблять новые виды продуктов на основе, натурального растительного сырья длительное время, поддерживая иммунитет и здоровье людей.