

Т.Г. БАБАК, доц., НТУ «ХПИ»;

И.Б. РЯБОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;

А.Н. ОРОБЕЙ, специалист, НТУ «ХПИ»

ОБСЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ САХАРНОГО СОКА

С целью повышения энергоэффективности сахарного производства был проведен анализ процесса утилизации тепла на установке выпаривания осветлённого сахарного сока. Были идентифицированы усредненные данные тепловых потоков, участвующих в рекуперации тепловой энергии, и обследованы режимы работы теплообменных аппаратов. Полученные данные были обработаны с помощью методов пинч-анализа. В статье показано, что вследствие наличия перекрестного теплообмена нарушается минимальная температурная разность в теплообменных аппаратах, достаточная для рекуперации данного количества тепла, что свидетельствует о завышении поверхности теплообмена в существующей схеме. Учитывая, что полученное значение минимальной температурной разности велико, сделан вывод о возможности модернизации схемы рекуперации с целью уменьшения потребления утилит.

Ключевые слова: выпарная установка, пинч-технология, составные кривые, мощность рекуперации, минимальная разность температур.

Введение.

Традиционная для Украины отрасль – производство сахара из сахарной свеклы, представляет собой сложную технологию, включающую в себя взаимозависимые тепловые процессы, такие как нагревание, многокорпусное выпаривание, варка, кристаллизация, сушка, а также отбеливание, дефекацию, сатурацию, фильтрацию и прочие. Ядром тепловой системы производства сахара является установка выпаривания, греющим агентом которой является ретурный пар и вторичные пары выпарных корпусов. Кроме того, каждый корпус выпарки отдает конденсат пара, который предполагает охлаждение до заданной температуры.

Анализ последних исследований и литературы.

Практическому и теоретическому обследованию работы тепловой схемы сахарного завода и его выпарной установки посвящено достаточно много фундаментальных [1–3] и прикладных исследований.

© Т.Г. Бабак, И.Б. Рябова, А.Н. Оробей. 2015

Следует отметить, что в последнее время появилось множество работ, посвященных уменьшению тепловых затрат при использовании многокорпусных выпарных установок [4–6]. При оценке тепловой эффективности используются различные пакеты прикладных программ, такие как ASPEN, Chemcad, HYSYS и другие, позволяющие производить оценку степени рекуперации выпарной установки, в том числе с использованием методов пинч-анализа [7, 8]. Зарубежные публикации в большинстве случаев рассматривают процесс получения тростникового сахара при использовании в качестве оборудования выпарных аппаратов с падающей пленкой. Специфика отечественных сахарных заводов состоит в использовании выпарных аппаратов Роберта и трубчатых многосекционных скоростных подогревателей. В этих условиях еще более важным становится требование максимальной энергоэффективности и рекуперации тепла.

Постановка задачи и цель работы.

Рассматривается работа выпарной установки сахарного завода с расходом осветленного сока 21,7 кг/с (рис. 1).

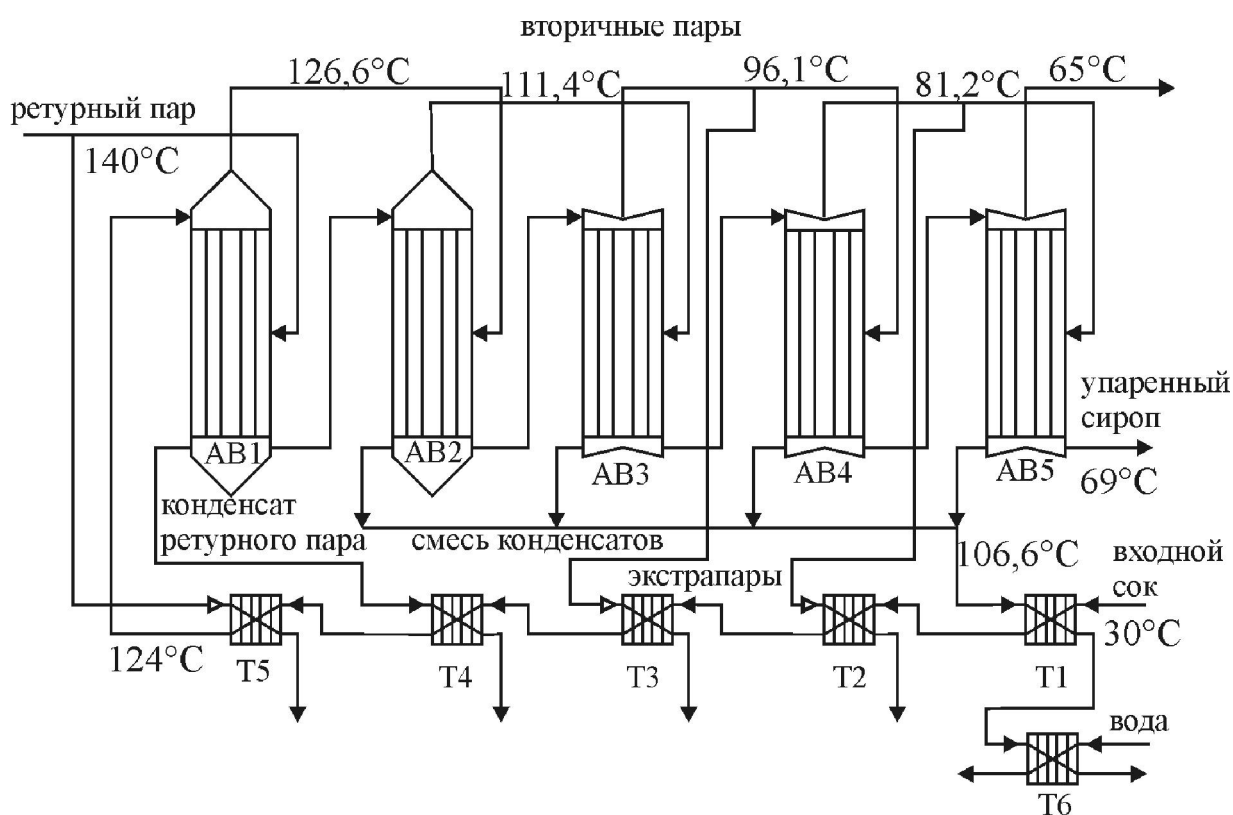


Рис. 1. Принципиальная схема выпарной установки сахарного завода

Входной осветленный сок концентрации 15% подогревается с температуры 30 °С до 124 °С, проходя через систему последовательно установленных теплообменных аппаратов Т1 – Т5. Греющими агентами в этих аппаратах являются следующие потоки: смесь конденсатов со 2-го по 5-ый корпус, экстрапар 4-го корпуса, экстрапар 3-го корпуса, конденсат ретурного пара из первого корпуса и, наконец, ретурный пар.

Таким образом, в схеме подогрева имеются четыре рекуперативных теплообменника и один нагреватель, использующий внешнюю утилиту – ретурный пар. Последовательная схема установки теплообменников является традиционной для процесса получения концентрированного сахарного сиропа [1]. Сама выпарная станция состоит из пяти корпусов, из которых два первых работают под давлением, а три следующих – под разрежением. Упаренный сироп на выходе из 5-го корпуса имеет концентрацию 50% и температуру 69 °С.

Данные о потоках, участвующих в рекуперации, представлены в табл. 1

Таблица 1. Характеристика потоков, участвующих в рекуперации тепла

№	Название потока	Тип	T_s	T_T	G	c	r	CP	ΔH
1	Конденсат ретурного пара	гор.	140	90	3,54	4,24	–	15	750,4
2	Экстрапар 3-го корпуса	гор.	96,1	96,1	0,71	–	2267	–	1598,4
3	Экстрапар 4-го корпуса	гор.	81,2	81,2	0,81	–	2306	–	1870
4	Смесь конденсатов	гор.	106,6	50	10,7	4,2	–	45,1	2551,9
5	Входной сок	хол.	30	124	21,7	3,947	–	85,66	8051,6

В табл. 1 использованы принятые в пинч-технологии обозначения, то есть начальные температуры потоков обозначены T_s , (°С); а конечные или целевые T_T (°С). Здесь G – массовый расход, кг/с; c – удельная теплоемкость, кДж/кг·°С; r – удельная теплота конденсации, кДж/кг; CP – потоковая теплоемкость, кВт/°С; ΔH – изменение теплосодержания потока, кВт.

Сведения об установленных рекуперативных теплообменниках приведены в табл. 2.

Таблица 2. Данные теплообменного оборудования

Т/О	Нагрузка, кВт	$G_{гор}$	$T_{гор, вх}$	$T_{гор, вых}$	$G_{хол}$	$T_{хол, вх}$	$T_{хол, вых}$
T1	956,6	10,7	106,6	85,4	21,7	30	41,2
T2	1870	0,81	81,2	81,2	21,7	41,2	63
T3	1598,4	0,71	96,1	96,1	21,7	63	81,7
T4	750,4	3,54	140	90	21,7	81,7	90,4

Если просуммировать значения нагрузки теплообменников из табл. 2, получим мощность рекуперации тепловой энергии в системе 5175,4 кВт.

Целью работы является анализ тепловой эффективности существующей схемы утилизации энергии выпарной установки.

Определение основного алгоритма работы.

Для анализа существующей схемы рекуперации энергии воспользуемся принципами пинч-анализа [9]. Для этого надо построить на температурно-энтальпийной плоскости составные кривые технологических потоков, участвующих в теплообмене (табл. 1). Расстояние между составными кривыми горячих и холодных потоков по оси ординат (ось температуры) должно быть таким, чтобы область на оси абсцисс, расположенная под обеими составными кривыми была равна мощности рекуперации. При этом проекция части холодной составной кривой, лежащей вне области горячей покажет нам значение мощности горячей утилиты – пара, необходимой для нагревания холодного потока, а проекция части горячей составной кривой, лежащей вне области холодной – значение мощности холодной утилиты – холодной воды, необходимой для охлаждения горячих потоков.

На основании составных кривых может быть построена сеточная диаграмма и размещены существующие в данный момент теплообменники, связывающие технологические потоки.

Анализ энергоэффективности существующей схемы рекуперации.

В соответствии с принципами пинч-анализа были построены составные кривые для тепловых потоков, участвующих в рекуперации энергии.

Эти составные кривые были расположены так, чтобы область перекрытия горячей составной кривой и холодной составной кривой по энтальпийной оси была равна мощности рекуперации 5175,4 кВт (рис. 2).

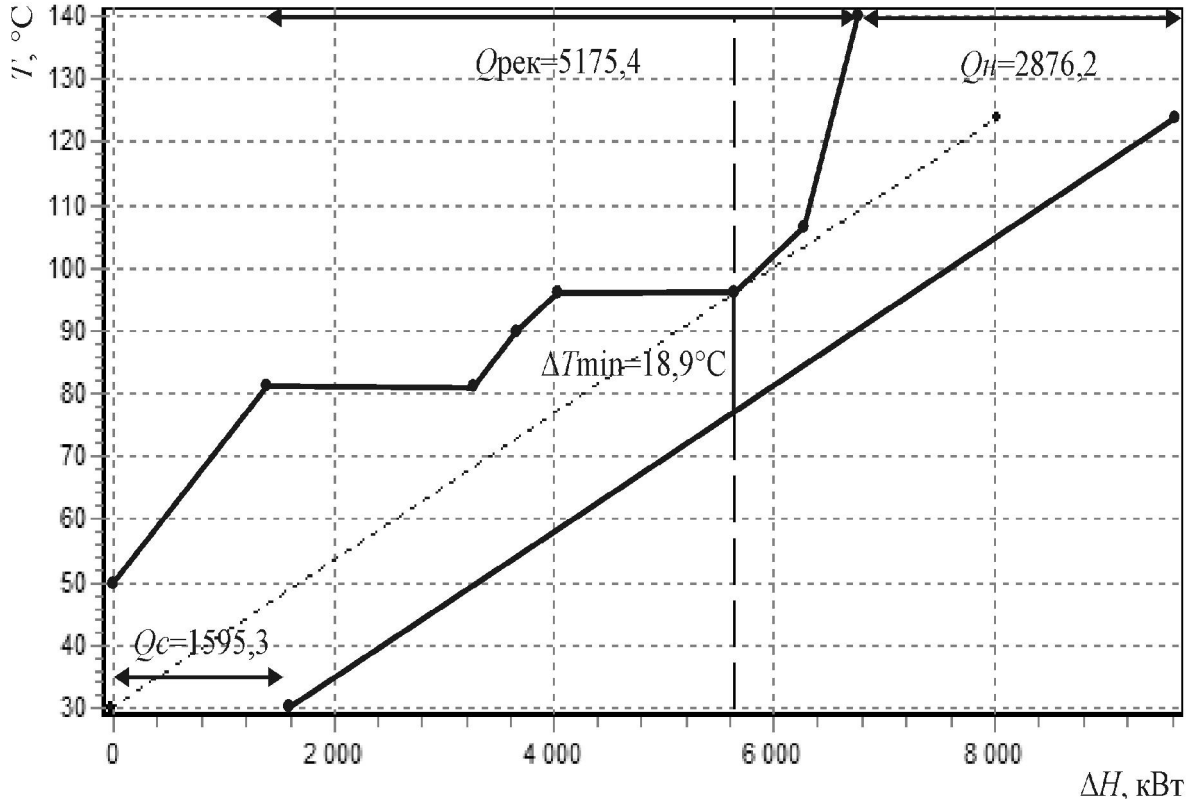


Рис. 2. Составные кривые тепловых потоков, участвующих в рекуперации тепла

Следует заметить, что минимальная разность температур в теплообменном оборудовании, необходимая для получения существующей мощности рекуперации, равна приблизительно $18,9^\circ\text{C}$.

Для того чтобы выявить недостатки организации теплообмена между используемыми технологическими потоками, построим сеточную диаграмму и расположим на ней теплообменные аппараты (рис. 3).

Вследствие наличия перекрестного теплообмена нарушается минимальная температурная разность $18,9^\circ\text{C}$ в теплообменных аппаратах, достаточная для рекуперации 5175,4 кВт тепла, то есть поверхность теплообмена в существующей схеме завышена.

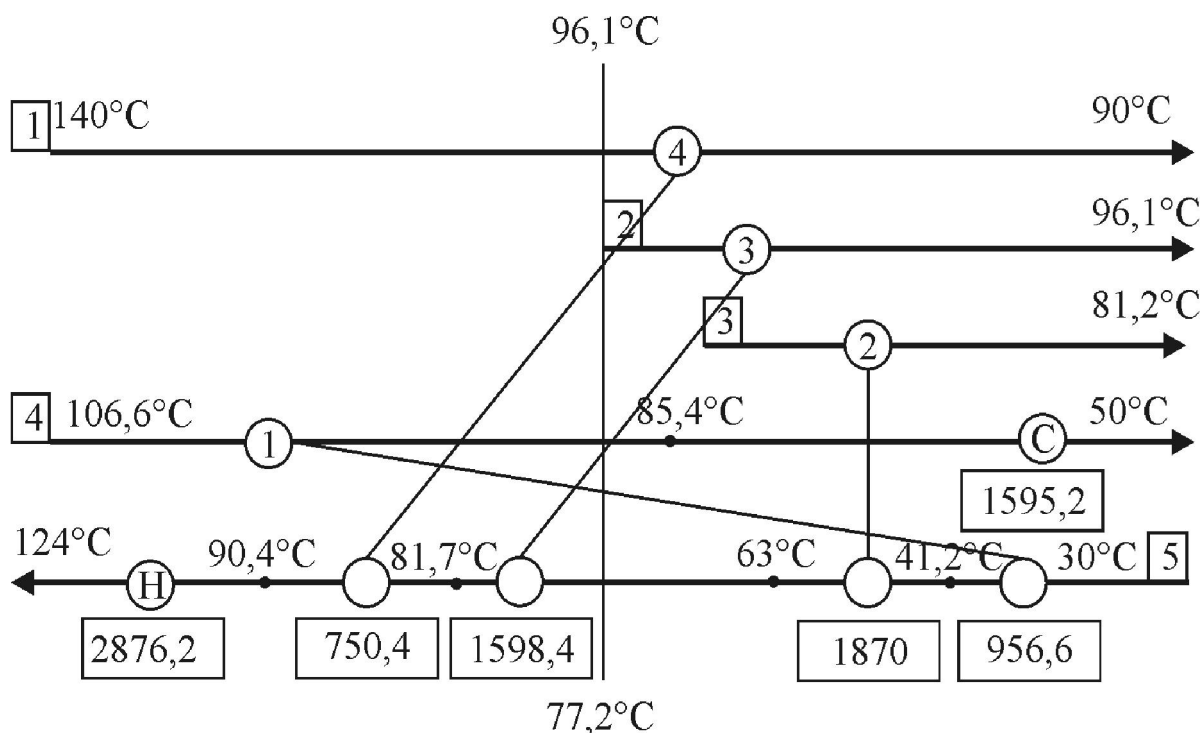


Рис. 3. Сеточная диаграмма с установленными теплообменниками

Минимальная температурная разность достаточно велика, что указывает на возможность модернизации рассматриваемой схемы рекуперации с целью уменьшения потребления утилит.

Выводы.

В результате проведенного обследования и анализа доказано несовершенство схемы использования теплообменного оборудования, реализованного в рассмотренной установке выпаривания сахарного сока.

Следует отметить, что возможно усовершенствование работы установки выпаривания, в частности, за счет модернизации схемы рекуперации тепла, которое может быть осуществлено с использованием принципов пинч-анализа.

Список литературы: 1. Колесников В.А. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов / В.А. Колесников, Ю.Г. Нечаев. – Москва : Пищевая промышленность. 1980. – 391 с.
2. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / Под ред. В.Н. Стабникова.

– Киев: Вища школа. 1982. – 385 с. **3.** *Прудиус Б.В.* Расчет оборудования сахарных заводов. / *Прудиус Б.В., Хоменко А.И.* – Москва : Агропромиздат. 1985. – 223 с. **4.** *Колесников В. А.* Эффективный нагрев продуктов – основа совершенствования теплоиспользования на сахарных заводах / *В.А. Колесников, А.Ю. Аникеев, С.А. Захаров* // *Сахар*. 2007. – № 7. – С. 41–44. **5.** *Колесников В.А.* Модернизация тепловых схем сахарных заводов / *В.А. Колесников, А.Ю. Аникеев* // *Сахар*. 2008. – № 5. – С. 72–76. **6.** *Филоненко В.Н.* Теплоэнергетика сахарного производства: технико-экономический аспект / *В.Н. Филоненко, О.В. Никитин* // *Сахар*. 2006. – № 5. – С. 26–30. **7.** *Jorge L.M.M.* Simulation and analysis of a sugarcane juice evaporation system / *L.M.M. Jorge, A.R Righetto, P.A. Polli, O.A.A. Santos, R. FilhoMaciel* // *Journal of Food Engineering*. 2010. – 99. – P. 351–359. **8.** *Khanam S.* Energy reduction schemes for multiple effect evaporator systems / *Khanam S, Mohanty B.* // *Applied Energy*. 2010. – 87. – P. 1102–1111. **9.** *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / *Р Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 456 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Kolesnikov V.A* Teplosilovoe hozyaystvo saharnyh zavodov / *V.A. Kolesnikov, Yu.G. Nechaev.* – Moscow: Pishchevaya promyshlennost. 1980. – 391 p. **2.** Proektirovanie protsessov i apparatov pishchevyh proizvodstv / Pod red. V.N. Stabnikova. – Kiev: Visha shkola. 1982. – 385 p. **3.** *Prudius B.V.* Raschet oborudovaniya saharnyh zavodov. / *Prudius B.V., Homenko A.I.* – Moscow: Agropromizdat. 1985. – 223 p. **4.** *Kolesnikov V.A.* Effektivnyy nagrev produktov – osnova sovershenstvovaniya teploispolzovaniya na saharnyh zavodah / *V.A. Kolesnikov, A.Yu. Anikeev, S.A. Zaharov* // *Sahar*. 2007. – No. 7. – P. 41–44. **5.** *Kolesnikov V.A.* Modernizatsiya teplovyh shem saharnyh zavodov / *V.A. Kolesnikov, A.Yu. Anikeev* // *Sahar*. 2008. – No. 5. – P. 72–76. **6.** *Filonenko V.N.* Teploenergetika saharного производства: tehniko-ekonomicheskii aspekt / *V.N. Filonenko, O.V. Nikitin* // *Sahar*. 2006. – No. 5. – P. 26–30. **7.** *Jorge L.M.M.* Simulation and analysis of a sugarcane juice evaporation system / *L.M.M. Jorge, A.R Righetto, P.A. Polli, O.A.A. Santos, R. FilhoMaciel* // *Journal of Food Engineering*. 2010. – 99. – P. 351–359. **8.** *Khanam S.* Energy reduction schemes for multiple effect evaporator systems / *Khanam S, Mohanty B.* // *Applied Energy*. 2010. – 87. – P. 1102–1111. **9.** *Smith R.* Osnovy integratsii teplovykh protsessov / *R. Smith, J. Klemes, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M Ul'yev.* – Khar'kov. NTU «KhPI». 2000. – 456 p.

Поступила (received) 04.02.2015