

УДК 045.01:664.1

Демирский А.В., Георгиадис М.С., Товажнянский Л.Л., Арсеньева О.П., Капустенко П.А., Бабак Т.Г.,
Хавин Г.Л.

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ САХАРНОГО СОКА В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ

Вступление. В процессе работы подогревателей сахарного сока перед выпариванием имеет место интенсивное загрязнение поверхности различного вида солями и частицами переработки сырья. Это приводит к остановке аппаратов на чистку в непрерывном технологическом процессе. Остановка работы подогревателей вызывает частичное изменение технологического процесса подогрева и влечет за собой дополнительные финансовые затраты на обслуживание. Поэтому задача анализа процессов образования отложений в пластинчатых подогревателях сахарной промышленности и их математическое моделирование является актуальной и имеет практическую ценность.

Состояние проблемы и формулировка задачи. Основу отложений на поверхности нагрева подогревателей сатурационного сока и подогревателей перед выпарной станцией составляют кристаллические образования карбоната кальция, гипс, кремнезем и органические вещества [1]. Специфика образования кристаллических отложений на теплопередающей поверхности пластинчатых теплообменников состоит в том, что сложный характер потока, обеспечивающий высокую степень турбулизации, приводит к существованию зон с высокой и низкой скоростью. Зоны пониженной скорости имеют место у точек контакта смежных пластин или у краев пластины, и являются центрами кристаллизации [2]. Кроме того, для чистых поверхностей пластин характерно наличие отрицательного коэффициента сопротивления загрязнению [3], который проявляется в начальный период работы чистого теплообменника и объясняется увеличением турбулентности в пристенном слое за счет появления шероховатости на поверхности пластины.

Основу состава отложений в подогревателях соков в сахарной промышленности составляют соли кальция (окись кальция, карбонаты и сульфаты) [4]. С одной стороны имеется опыт эксплуатации трубчатых подогревателей очищенного сока перед выпариванием [5–8]. Были проведены экспериментальные исследования и разработаны математические модели прогнозирования роста загрязнений на теплопередающей поверхности [9–12]. Несмотря на практически полную замену трубчатых теплообменников на пластинчатые подогреватели для нагрева чистого сока перед выпариванием, исследованиям работы установленных аппаратов на этих позициях уделялось не достаточно внимания. Отчасти вопросы оптимального проектирования теплообменников и прогнозирования их работы нашли свое отражение в работах [13–16].

Цель работы. Целью настоящей работы является анализ и математическая обработка результатов натурных экспериментов, полученных из наблюдения работы подогревателей очищенного сока на сахарном заводе в г. Валуйки (Россия), и разработка теоретической модели предсказания роста отложений на теплопередающей поверхности пластинчатых теплообменников, работающих на подогреве сахарного сока перед выпариванием. На основе полученных результатов предложен анализ работы одного из пластинчатых аппаратов, построена математическая модель, прогнозирующая его работу во времени между остановками на чистку.

Постановка задачи. Общая схема установки пластинчатых подогревателей сахарного сока перед выпариванием представлена на рис. 1. Особенностью является то, что второй по ходу подогрева сока теплообменник использует в качестве греющего теплоносителя конденсат, а подогрев сока непосредственно перед подачей на выпарной аппарат 1-го корпуса осуществляется в трубчатом высокоскоростном подогревателе ретурным паром.

Сок поступает на теплообменник производства GEA (первый по ходу), где подогревается паром 4-го корпуса, далее установлен теплообменник марки M15M производства фирмы «Альфа Лаваль» [17] обогреваемый конденсатом. После этого дальнейший догрев сока осуществляется в аппаратах M15M паром 2-го и 1-го корпусов.

Мониторинг производился в течение 130 дней. Первое измерение было проведено после пусковых работ, которые заняли продолжительный период и сопровождались остановками в работе аппарата. Было принято, что устойчивый режим функционирования теплообменников наступает примерно по достижению 96 ч эксплуатации.

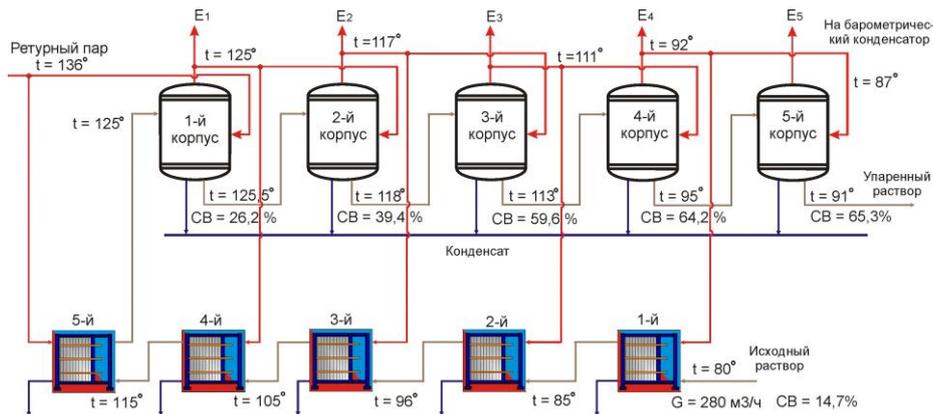


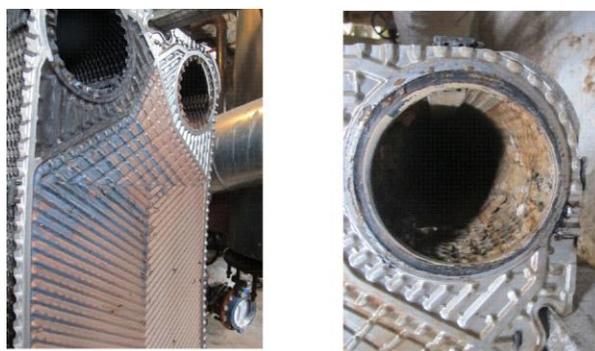
Рисунок 1 – Схема установки подогревателей сахарного сока перед выпаркой

В результате наблюдений и измерений были получены следующие результаты. Подогреватель сока перед выпаркой GEA стоит первым по продукту и берет на себя основную массу находящегося в соке загрязнений. Он забивается по продукту достаточно интенсивно и в результате его приходилось останавливать и чистить 3 раза за сезон (130 дней) – на 10-й, 50-й и 80-й день эксплуатации. Подогреватель конденсатом останавливался на очистку два раза: на 15-й день, когда потери давления выросли до 120 кПа при расчетном исходном значении 50 кПа и на 90-й день по этой же причине. Теплообменники 3-й и 4-й ступени подогрева за время работы не чистились, потери давления, и снижение коэффициента теплопередачи были удовлетворительными, но в конце периода эксплуатации приблизились к критическим значениям.

Анализ осмотра аппаратов во время остановки на чистку и в конце эксплуатационного сезона позволили сделать следующие выводы. Наиболее сильно отложения выпадают на распределительных участках и в коллекторах, рис. 2. Отложения представляют собой механические примеси по продукту, волокна, кристаллизационные отложения солей, но не накипь. Отложения имеют смешанную структуру и легко очищаются с поверхности пластин, особенно у подогревателей 3-й и 4-й ступеней, рис. 3.



а) б)
Рисунок 2 – Загрязнение теплообменников 1-й и 2-й ступеней:
а – распределительного участка; б – коллектора



а) б)
Рисунок 3 – Загрязнение теплообменников 3-й и 4-й ступеней:
а – распределительного участка и поверхности пластины; б – коллектора

Также в течение 14 дней с момента пуска был проведен мониторинг работы 2-го теплообменного аппарата работающего на конденсате. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты измерений технологических параметров работы 2-го теплообменника

Параметры	Время, ч				
	96	144	216	264	312
Расход сока, м ³ /ч	265	260	270	277	265
Входная температура сока, °С	103	101	100,5	102	101,7
Выходная температура сока, °С	108	105	106	107	106
Расход воды, м ³ /ч	65	63	61	66	64
Входная температура воды, °С	123,5	123,5	123,5	123,5	123,5
Выходная температура воды, °С	105	102,8	104,8	106,1	104,8

Фактически это были наблюдения за работой теплообменника перед его остановкой на чистку, которая была вызвана ростом потерь давления в аппарате по стороне продукта, вызванное интенсивным загрязнением теплопередающей поверхности.

Заключение. Рассмотрена работоспособность системы пластинчатых подогревателей сахарного сока перед выпаркой, в условиях реальной эксплуатации на работающем сахарном заводе позволила сделать ряд выводов:

- остановка теплообменников на очистку производится по достижению потерь давления в аппарате критического значения;
- наиболее загрязняется первой по ходу нагрева сока аппарат (3 раза за 130 дней работы), далее 2-й – одна чистка;
- подогреватели 3-й и 4-ой ступеней в течение всего периода эксплуатации не чистились;
- загрязнения, главным образом, образуются на распределительной части пластин и в коллекторах;
- отложения состоят из остатков продуктов переработки и частично солей, имеют рыхлую структуру, легко удаляются при чистке с разборкой аппарата;
- для уменьшения числа чисток с остановкой аппарата 1-й ступени можно рекомендовать либо установку ширококанального пластинчатого аппарата, либо установку дублирующего теплообменника, дающего возможность переключения подогрева потока без остановки теплообменника на чистку.

Приведенные оценки позволяют заранее на стадии проектирования или модернизации спрогнозировать примерное время критического загрязнения аппаратов. Дальнейшее развитие заключается в создании математической модели для расчета системы пластинчатых подогревателей сахарного сока перед выпариванием, а также теплообменников на других позициях сахарного производства и в различных отраслях промышленности.

Поддержка

Авторы благодарят за финансовую поддержку ЕС FP7 проект “Distributed Knowledge-Based Energy Saving Networks” – DISKNET, Grant Agreement No: PIRSES-GA-2011-294933.

Литература

1. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004.– 232 с.
2. Модернизация системы последовательно установленных подогревателей сахарного сока / О.П. Арсеньева, Т.Г. Бабак, А.В. Демирский, Г.Л. Хавин // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса: 2011, Вип. 39.– Том. 2.– С. 151–155.
3. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Оптимизация пластинчатого теплообменника // Пробл. машиностроения.– 2011.– т. 14, №1.– С. 23–31.
4. Сагань И.И., Разладин Ю.С. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках.– Киев: Техника, 1986.– 133 с.
5. Накипеобразование и пути его снижения в сахарной промышленности / А.Т. Богорош, И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983.– 192 с.
6. Богорош А.Т. Возможности управления свойствами кристаллических отложений.– К.: Вища школа, 1987.– 247 с.

7. Богорош А.Т. Вопросы накипеобразования.– К.: Вища школа, 1987.– 179 с.
8. Исследование влияния скорости движения сока на коэффициент накипеобразования в подогревателях сахарной промышленности / Тобилевич Н.Ю., Сагань И.И., Гаряжа В.Т., Князев А.А. // Пищевая промышленность. – Киев, 1965. – С. 132–135.
9. Accounting for the thermal resistance of cooling water fouling in plate heat exchangers / O.P. Arsenyeva, B. Crittenden, M. Yang, P. O. Kapustenko // Applied Thermal Engineering. – 2013. – Т. 61, № 1. – С. 53–59.
10. Accounting for thermal resistance of cooling water fouling in plate heat exchangers / O.P. Arsenyeva, L.L. Tovazhnyanskyu, P.O. Kapustenko, O. V. Demirskiy // PRESS 2012: 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction. – Т. 29 – Prague, CZ: Chemical Engineering Transactions, 2012. – С. 1327–1332.
- 11 Crystallization fouling with enhanced heat transfer surfaces / B. Crittenden, M.Yang, L. Dong., R. Hanson, J. Jones, R. Kundu, J. Harris, O. Klochok, O. Arsenyeva., P. Kapustenko // International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning – 2013 / Под ред. Malayeri M. R. и др. – Budapest, Hungary, 2013. – С. 379–385.
12. Mitigation of Fouling in Plate Heat Exchangers for Process Industries / L. Tovazhnyanskyu, P. Kapustenko, O. Arsenyeva, A. Yuzbashyan // PRESS 2012: 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction. – Т. 29 – Prague, CZ: Chemical Engineering Transactions, 2012. – С. 1441–1446.
13. Практическая реконструкция системы подогревателей сахарного сока перед выпариванием / Л.Л. Товажнянский, О.П. Арсеньева, А.В. Демирский, Г.Л. Хавин // Інтегровані технології та енергозбереження //Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012, №2.– С. 99–102.
14. Анализ работы пластинчатого подогревателя сахарного сока с учетом отложений / Арсеньева О.П., Бабак Т.Г., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса: 2012, Вип. 41.– Том. 2.– С. 173–177.
15. Товажнянский Л.Л., Демирский А.В., Хавин Г.Л. К определению величины загрязнения теплопередающей поверхности пластинчатых теплообменников // Інтегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012, №4. – С. 99–104.
16. Анализ работы систем подогревателей сахарного сока с учетом загрязнений теплообменной поверхности / А.В. Демирский, Л.Л. Товажнянский, О.П. Арсеньева, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин // Інтегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013, №2.– С. 14–17.
17. Демирский А.В. Анализ процесса образования отложений в пластинчатых подогревателях сахарной промышленности // Інтегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014, №4. – С. 74–78.

Bibliography (transliterated)

1. Platinchatyie teploobmenniki v promyishlennosti. L.L. Tovazhnyanskyu, P.A. Kapustenko, G.L. Khavin, O.P. Arsenyeva. – Harkov: NTU «HPI», 2004.– 232 p.
2. Modernizatsiya sistem posledovatelno ustanovlennyih podogrevatelyeh saharного soka. O.P. Arsenyeva, T.G. Babak, A.V. Demirskiy, G.L. Khavin. Naukovi pratsi ONAHT.– Odesa: 2011, Vip. 39.– Tom. 2.– P. 151–155.
3. Arsenyeva O.P., Demirskiy A.V., Khavin G.L. Optimizatsiya platinchatogo teploobmennika. Probl. mashinostroeniya.– 2011.– t. 14, #1.– P. 23–31.
4. Sagan I.I., Razladin Yu.S. Borba s nakipeobrazovaniem v teploobmennikah.– Kiev: Tehnika, 1986.– 133 p.
5. Nakipeobrazovanie i puti ego snizheniya v saharной promyishlennosti. A.T. Bogorosh, I.M. Fedotkin, I.S. Gulyiy. – M.: Legkaya i pischevaya prom-st, 1983.– 192 p.
6. Bogorosh A.T. Vozmozhnosti upravleniya svoystvami kristallicheskih otlozheniy.– K.: Vischa shkola, 1987.– 247 p.
7. Bogorosh A.T. Voprosyi nakipeobrazovaniya.– K.: Vischa shkola, 1987.– 179 p.
8. Issledovanie vliyaniya skorosti dvizheniya soka na koeffitsient nakipeobrazovaniya v podogrevatelyah saharной promyishlennosti. Tobilevich N.Yu., Sagan I.I., Garyazha V.T., Knyazev A.A. Pischevaya promyishlennost. – Kiev, 1965. – P. 132–135.
9. Accounting for the thermal resistance of cooling water fouling in plate heat exchangers. O.P. Arsenyeva, B. Crittenden, M. Yang, P.O. Kapustenko. Applied Thermal Engineering.– 2013.– Т. 61, # 1. – P. 53–59.
10. Accounting for thermal resistance of cooling water fouling in plate heat exchangers. O.P. Arsenyeva, L.L. Tovazhnyanskyu, P.O. Kapustenko, O.V. Demirskiy. PRESS 2012: 15th Conference on Process Integra-

tion, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction.– Т. 29.– Prague, CZ: Chemical Engineering Transactions, 2012.– С. 1327–1332.

11 Crystallization fouling with enhanced heat transfer surfaces. B. Crittenden, M. Yang, L. Dong., R. Hanson, J. Jones, R. Kundu, J. Harris, O. Klochok, O. Arsenyeva, P. Kapustenko. International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning – 2013 / Pod red. Malayeri M. R. i dr.– Budapest, Hungary, 2013.– P. 379–385.

12. Mitigation of Fouling in Plate Heat Exchangers for Process Industries. L. Tovazhnyanskyy, P. Kapustenko, O. Arsenyeva, A. Yuzbashyan. PRESS 2012: 15th Conference on Process Integration, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction.– Т. 29 – Prague, CZ: Chemical Engineering Transactions, 2012.– С. 1441–1446.

13. Prakticheskaya rekonstruktsiya systemy podogrevatelya sahnogo soka pered vyiparivaniem / L.L. Tovazhnyanskyy, O.P. Arsenyeva, A.V. Demirskiy, G.L. Khavin. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. Schokvartalniy naukovopraktichniy zhurnal.– Kharkiv: NTU "HPI".– 2012, #2.– P. 99–102.

14. Analiz roboty plastinchatogo podogrevatelya sahnogo soka s uchetom otlozheniy. Arsenyeva O.P., Babak T.G., Kapustenko P.A., Havin G.L. Naukovi pratsi ONAHT.– Odesa: 2012, Vip. 41.– Tom. 2.– P. 173–177.

15. Tovazhnyanskyy L.L., Demirskiy A.V., Khavin G.L. K opredeleniyu velichiny zagryazneniya teploperedayushey poverhnosti plastinchatykh teploobmennikov. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. Schokvartalniy naukovopraktichniy zhurnal. – Harkiv: NTU "HPI". – 2012, #4. – P. 99–104.

16. Analiz roboty sistem podogrevatelya sahnogo soka s uchetom zagryazneniy teploobmennoy poverhnosti. A.V. Demirskiy, L.L. Tovazhnyanskyy, O.P. Arsenyeva, P.A. Kapustenko, G.L. Khavin. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. Schokvartalniy naukovopraktichniy zhurnal. – Harkiv: NTU "HPI". – 2013, #2.– P. 14–17.

17. Demirskiy A.V. Analiz protsessa obrazovaniya otlozheniy v plastinchatykh podogrevatelyakh sahnogo promyshlennosti. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. Schokvartalniy naukovopraktichniy zhurnal. – Harkiv: NTU "HPI". – 2014, #4. – P. 74–78.

УДК 045.01:664.1

Демірський О.В., Георгіадіс М.С., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., АРСЕНЬЄВА О.П., КАПУСТЕНКО П.О., БАБАК Т.Г., ХАВІН Г.Л.

МОНІТОРИНГ ДИНАМІКИ РОБОТИ ПЛАСТИНЧАСТИХ ПІДГРІВАЧІВ ЦУКРОВОГО СОКА В РОБОЧИХ УМОВАХ

Розглянуто роботу пластинчатих підігрівачів цукрового соку у реальних умовах експлуатації на цукровому заводі. Була визначена степінь забруднення усіх апаратів і встановлені строки виходу на чищення за критерієм збільшення втрат тиску у підігрівачі. Вивчена структура і склад відкладень, та їх розподіл у теплообміннику. Представлені висновки і рекомендації для раціонального проектування теплообмінних апаратів.

Demirskyy A.V., Geogiadis M., Tovazhnianskyy L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.A., Babak T.G., Khavin G.L.

MONITORING THE DYNAMICS OF THE WORK PLATE HEAT EXCHANGERS OF SUGAR JUICE IN OPERATING CONDITIONS

The work of the plate heaters sugar juice in actual use in a sugar factory is considered. It was determined the degree of fouling of all installed devices and time-to-clean under the criterion of increasing pressure drop in the unit. The structure and composition of the deposits and their distribution in the heat exchanger are studied. The conclusions and recommendations for the rational design of heat exchangers are presented.