

Досвід реалізації інтенсифікації теплообміну в підігрівниках цукрових заводів

В.А. Мельник, директор, ТОВ Науково-виробниче підприємство «Енерготехнологія»
А.О. Білевич, керівник проектного відділу ТОВ Науково-виробниче підприємство «Енерготехнологія»
В.О. Бойко, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій
М.О. Прядко, д.т.н., професор кафедри теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій
С.А. Наумчик, головний інженер ПрАТ «Українська Технологічна Компанія (УТК)»
О. М. Корчемна, директор ТОВ «Призма-14»
А.А. Гладишко, директор з виробництва ТОВ «Юзефо-Миколаївська АПК»
В.В. Коднєв, представник інвестора ТОВ «Юзефо-Миколаївська АПК»

*Представлено досвід реалізації інтенсифікації процесів теплообміну в підігрівниках цукрових заводів.
 Ключові слова: інтенсифікація, підігрівник, теплообмін.*

Представлено опыт реализации интенсификации процессов теплообмена в подогревателях сахарных заводов.

Ключевые слова: интенсификация, подогреватель, теплообмен.

To pre heaters of sugar factories

Presented by the experience of realization the intensification of heat transfer processes to pre heaters of sugar factories.

Keywords: intensification, pre heater, heater change.

Вступ

Інтенсифікація теплообміну між теплоносіями дозволяє збільшити тепловий потік при незмінній різниці температур і є ефективним засобом зменшення металоемності теплообмінного обладнання.

На підприємствах харчової промисловості, особливо у цукровій галузі, застосовуються різноманітні конструкції рекуператорів, наприклад, зрошувальні (контактні), труба в трубі, кожухотрубні типу «решофер», секційні (в різній компоновці виконання), пластинчаті, змієвикові, спеціальні та інші.

До конструкцій теплообмінників є вимоги:

1. Висока надійність при довгостроковій експлуатації.
2. Висока інтенсивність теплопередачі при прийнятному гідравлічному опорі.
3. Компактність і порівняно невелика матеріалоемність.
4. Технологічність виготовлення.
5. Можливість очищення теплообмінної поверхні.
6. Транспортбельність.
7. Зручність обслуговування і ремонтпридатність.
8. Безпечність експлуатації і обслуговування.

Основні теплотехнічні характеристики підігрівників:

1. Конструктивні характеристики.

- Площа поверхні теплообміну (F), м².
- Габаритні розміри і об'єм (V), м³.
- Вага (m), кг.
- Показник конструктивної компактності (F/V), м²/м³.
- Показник конструктивної матеріалоемності (F/m), м²/кг.

2. Енергетичні характеристики.

- Тепловий потік, що передається (Q), Вт.
- Термічний опір (R), К/Вт.
- Потужність для прокачування теплоносіїв (N1, N2), Вт.
- Коефіцієнт теплової ефективності ($E_t = Q/Q_{max}$).
- Коефіцієнт енергетичної ефективності ($E_e = Q / (N1 + N2)$).
- Характеристика енергетичної компактності (Q/V), Вт/м³.
- Характеристика енергетичної матеріалоемності (Q/m), Вт/кг.

З огляду на вищевказані вимоги до конструкції

підігрівників та забезпечення оптимальних конструктивних та енергетичних характеристик кожний з типів підігрівників, що використовуються на підприємствах цукрової промисловості має свої переваги та недоліки.

Доцільність застосування того чи іншого типу теплообмінних апаратів визначається, по-перше, собівартістю передачі тепла, що включає капітальні затрати на придбання, монтаж та ремонт теплообмінника, а також експлуатаційні затрати на прокачування теплоносія; по-друге, вирішення виробничих проблем, пов'язаних із відсутністю достатніх виробничих площ для установки громіздких теплообмінників; по-третє умовами експлуатації, коли виникає необхідність підтримання високих швидкостей теплоносія з метою запобігання відкладанню легких осадових забруднень [4].

За всіх однакових умов в даній статті ми будемо вести мову про трубчасті підігрівники, оскільки існують запитання до так званих «міфічних» переваг пластинчастих підігрівників (невелика вага, невеликі габаритні об'єми, тонкостінність і високий коефіцієнт теплопередачі, підвищений строк експлуатації, легкість технічного обслуговування).

Трубчасті підігрівники встановлюються на цукрових заводах у вертикальному, горизонтальному виконанні та під кутом. На наш погляд вертикальне виконання має ряд переваг, пов'язаних в більшій мірі із експлуатаційними факторами, такими як: надійність системи відведення конденсату (у разі незадовільного стану менша площа буде виключена із роботи), зручність (менша площа) під час очистки поверхні нагріву (механічна очистка), а також менші площі, що займає підігрівник в заводі.

В процесі теплообміну в підігрівнику є ряд теплотехнічних величин від яких залежить загальний коефіцієнт теплопередачі K , Вт/м²К. Враховуючи, що трубчасті підігрівники використовують практично одну й ту ж трубку 33x1,5 мм та однаковий матеріал (фактор $\lambda_{ст}/\delta_{ст}$) і при забезпеченні однакової швидкості в трубках (величина α_2) основним фактором є (величина α_1) коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки трубки. Тому необхідно розглянути методи та засоби інтенсифікації даного параметру.

При розробленні підігрівників слід враховувати, що для нагрівання продуктів цукрового виробництва використовується тепло вторинних парів корпусів ВУ, що має значний вміст газів, що не конденсуються, які різні по своїй природі походження і фізико-хімічних властивостях [1]. Разом з тим, потрібно відмітити, що теоретично насичена пара являється «сухою», а на практиці є завжди «вологою», що зменшує її потенціал. Неконденсовані гази, повітря та вологість нагрівної пари являються теплоізоляторами. Термічний опір кон-

денсату в 60-70 разів більше, ніж цей показник для заліза і сталі, а повітряної плівки – в 1500 раз. За даних умов, основним термічним опором при конденсації є дифузійний опір, зумовлений падінням парціального тиску парів, що конденсуються на поверхні конденсації (Стефанів потік), утворюючи приграничний шар з підвищеною концентрацією інертного компонента [2]. При цьому, основним інтенсифікуючим фактором тепловіддачі є:

- заходи, що зменшують вміст газів в нагрівних камерах – нагрівання «пролітною» парою;
- збільшення швидкості парорідинного потоку;
- впорядкування системи відведення неконденсованих газів та конденсатів з парових камер теплообмінного устаткування.

Спеціалістами ТОВ НВП «Енерготехнологія», кафедри теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ, ПрАТ «Українська Технологічна Компанія» (ПрАТ «УТК»), розроблені конструкції теплообмінних апаратів для нагрівання різних продуктів в цукровій галузі вторинними парами випарної установки (ВУ), що вдало поєднує всі позитивні сторони контактних, кожухотрубних підігрівників типу «решофер», пластинчастих та секційних підігрівників [3] і мають високі коефіцієнти теплової ефективності, енергетично компактні та енергетично матеріалоемні.

При розробці підігрівників була поставлена задача створення ефективного теплообмінного апарата. Підігрівник включає в себе паророзподільну камеру, що значно зменшує нерівномірність обмивання парою між трубного простору, а це призводить до зниження зон концентрацій неконденсованих газів в паровій камері, зменшує товщину плівки конденсату на поверхні трубки, утворення зон крапельної конденсації пари. Крім цього передбачено зменшення опору при вході пари в міжтрубний простір. Це дає можливість більш ефективно використовувати теплоту пари, так як зменшується гідравлічна температурна депресія, що призводить до збільшення тепловіддачі з боку конденсації. Все це дозволяє інтенсифікувати процес теплообміну в підігрівниках конструкції ТОВ НВП «Енерготехнологія» шляхом підвищення величини коефіцієнта тепловіддачі від пари до стінки трубки [5].

На більшості підприємств цукрової галузі, де виникає необхідність нагрівання продуктів, особливою проблемою постає питання забруднення та накипоутворення на поверхнях теплообміну, що є причиною як свідомого збільшення поверхонь теплообмінних апаратів, так і встановлення резервних теплообмінних поверхонь, що суттєво збільшує металоємність теплової схеми. Конструкція розроблених і впроваджених у виробництво підігрівників дозволяє максимально використати термальну енергію пари, тобто кінцева температура продукту на виході із підігрівника досягає більшого значення при однакових стартових умовах, так як споживання пари на дану кіль-

кість тепла зменшується за рахунок покращення умов теплопередачі, а не за рахунок збільшення поверхні теплообміну.

В 2012 році на машинобудівному заводі підприємства ПрАТ «УТК» по технічній документації розробленої конструкторськими відділами ТОВ НВП «Енерготехнологія» і ПрАТ «УТК» виготовлено теплообмінне устаткування для СП «Моївський цукор», СП «Соколівський цукор», яке було змонтовано та задіяно в теплотехнологічних схемах підприємств і надійно відпрацювало сезони сокодобування 2012, 2013 та 2014 років [3].

Потрібно відмітити, що поверхня теплообміну підігрівників соку перед попереднім вапнуванням, перед 2-ою сатурацією та перед випарною установкою 1-ої групи становить 75 м², в якості нагрівної використовується вторинна пара 3-го та 4-го корпусів ВУ, вони забезпечують нормативний нагрів на продуктивність підприємства на рівні переробки 3200 тонн буряків на добу. Особливістю даного устаткування є те, що поверхня теплообміну знаходиться в одному корпусі, конструкція якого передбачає надійну вентиляцію і відведення конденсатів, а також максимально можливе використання потенціалу нагрівної пари, не потребує постійного регулювання відведення неконденсованих газів. З метою зменшення металоємності, а також усунення ослаблення теплообмінних трубок в місцях вальцювання, застосовано кріплення останніх в рорванді шляхом зварювання.

Разом з тим, спеціалістами кафедри ТЕХТ НУХТ і ТОВ НВП «Енерготехнологія» розроблено технічну документацію на підігрівники, що використовують в якості нагрівної пари – вторинну пару з вакуум апаратів для нагрівання дифузійного соку, а також на модернізацію існуючих секційних підігрівників А2-ПТС і А2-ПСС першого покоління і кожухотрубних типу «решофер», що використовуються в тепло-технологічних схемах підприємств. Незначні зміни внесені в конструкцію існуючих підігрівників призводять до суттєвого покращення їх теплотехнічних показників. Конструкція підігрівників на вторинній парі вакуум-апаратів передбачає максимальне використання низько потенціального тепла за рахунок збільшення її швидкості; високу енергетичну компактність та високу енергетичну матеріаломісткість; зручність в обслуговуванні; відносно невисокий ціновий показник в порівнянні з аналогічними підігрівниками. Роботи по впровадженню в виробництво підігрівників, що споживають тепло вторинної пари вакуум-апаратів, конструкції ТОВ НВП «Енерготехнологія», а також модернізації секційних та кожухотрубних підігрівників в ремонтний період 2011-2014 р.р. виконані на таких підприємствах, як ТОВ «Юзефо-Миколаївська АПК», СП «Моївський цукор», СП «Капустянський цукор», СП «Соколівський цукор», ТОВ ТД «Шепетівський цукор», ТОВ «Краєвид» та ін.

Експлуатація теплообмінного устаткування під час виробництва показала, що при однакових початкових температурах соку, теплоносія і кількості продукту на підігрівник – температура соку на виході післямодернізованого підігрівника на 2-3⁰С вища, що суттєво впливає на величину паровідборів із ВУ, з метою використання низькопотенціального тепла з корпусів ВУ, збільшення кратності випаровування соків на ВУ.

В ремонтний період 2014 року на машинобудівному заводі ПрАТ «УТК» в установлені терміни виготовлено наступне теплотехнічне устаткування для підприємства ТОВ «Призма-14» (Кашперівський цукровий завод): підігрівник дифузійного соку ПДСУ -1600 -3, що споживає утфільну пару з вакуум-апаратів (рис.1); підігрівник жомопресової води ПДС – 400 - 4, підігрівник проміїв для гасіння вапна ПДС – 400 - 4, підігрівник «білої» патоки І кристалізації ПДС – 400 – 4 (рис.2); підігрівник «зеленої» патоки І кристалізації ПДС – 600 – 4.

Спеціалістами ТОВ НВП «Енерготехнологія» розроблені монтажні креслення, розрахунок додаткових навантажень на існуючі несучі конструкції та їх підсилення, тепло-технологічні схеми по підключенню підігрівників ПДСУ-1600-3 та ПДС – 400 – 4 (рис.3, рис.4).

Згідно результатів роботи в сезон виробництва 2014 року можна відмітити, що все нове та модернізоване теплообмінне устаткування відпрацювало надійно, з тепло-технологічними характеристиками згідно розрахунково-проектних. На мнемосхемі (рис.5) показано дійсні температури соків після підігрівника на дифузійного соку, що обігрівається вторинною парою вакуум-апаратів та модернізованих кожухотрубних підігрівників дифузійного соку, що обігрівається вторинною парою з ВУ станом на третю декаду роботи заводу.

Висновок

Отже, високі розрахункові теплотехнічні показники роботи секційних підігрівників (багатокорпусна конструкція, що нагрівається одним потенціалом) не підтверджуються в реальних умовах експлуатації цукрових заводів, у зв'язку із наявністю вищевказаних факторів, що не дозволяють інтенсифікувати процес теплообміну зі сторони пари до поверхні теплообміну.

Проте, високоефективний кожухотрубний підігрівник конструкції ТОВ НВП «Енерготехнологія», що є не чим іншим, як модернізованим вертикальним кожухотрубним підігрівником типу «решофер», на практиці має кращі тепломеханічні і експлуатаційні показники роботи в реальних умовах роботи цукрових заводів України, і своє однокорпусною конструкцією реалізує процес інтенсифікації теплообміну.

На думку деяких вітчизняних виробників теплообмінного обладнання, якби за минулі десятиліт-

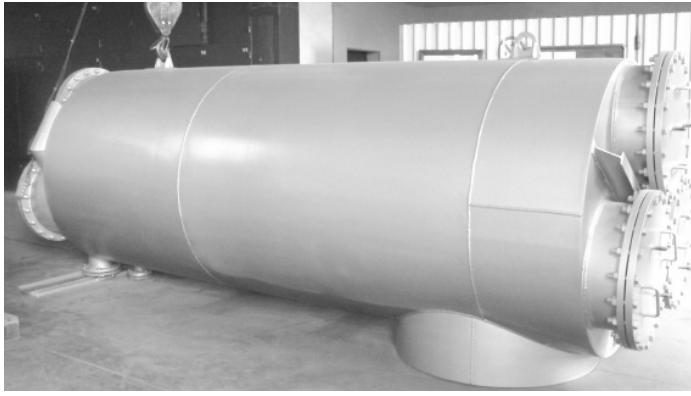


Рис.1. Підігрівник ПДСУ-1600-3

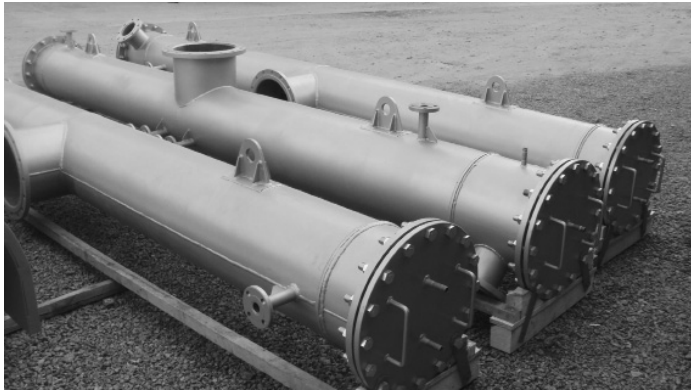


Рис.2. Підігрівники ПДС 400-4



Рис.3. Вид змонтованого підігрівника дифузійного соку ПДСУ-1600-3, що обігривається вторинною парою вакуум-апаратів

тя хоча би 10% коштівнаправлених на впровадження високоефективних, але не пристосованих для вітчизняних технологічних схем очистки, теплообмінних апаратів, були адресовані фірмам, що працюють в напрямку розробки сучасних високоефективних кожухотрубних підігрівників, а також використати вітчизняні наукові дослідження, що базуються на науковій школі Н.Ю. Тобілевича, то, можливо, і не народжувалися би міфи про беззаперечну перевагу вище вказаних підігрівників, а сьогодні більшої міри застосовувалися не менш високоефективні кожухотрубні апарати вітчизняної розробки.

Список використаних джерел

1. Ю.С. Разладин, С.Ю. Разладин, Н.А. Прядко. Особенности теплообмена в присутствии неконденсирующихся газов в паровых камерах теплообменных аппаратов Сахар. – 2006 - №5. – с. 46-49.



Рис.4. Вид змонтованого підігрівника «білої» потоки I кристалізації ПДС – 400 - 4

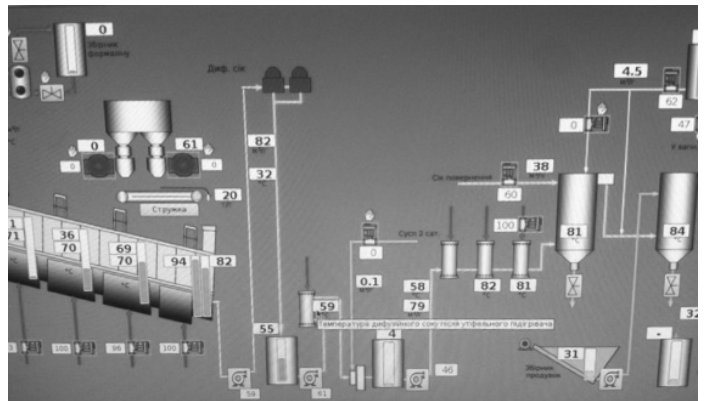


Рис.5. Мнемосхема станції нагрівання дифузійного соку

2. В.П. Петренко, М.О. Прядко, В.О. Бойко. Про теплообмін в підігрівачах при конденсації пари з незначним вмістом газів. Цукор України. – 2011 - №1(61). – с. 15-20.

3. Мельник В.А., В.О. Бойко, Прядко М.О., Власюк М.А., Кушнір І.С., Лобода О.Ф., Мізернюк О.А., Трач С.В. Модернізація існуючих теплових схем цукрових заводів ТОВ «Подільські цукроварні» в 2012 році Цукор України. -2 013 - №1(85). - с. 8-11.

4. В.П. Петренко. Порівняння ефективності роботи теплообмінних апаратів. Цукор України. - 1996 - №2 (145). – с. 19-20.

5. Патент на винахід 74343 Україна. Теплообмінний апарат / Петренко В.П., Прядко М.О., Бурлака В.І., Масліков В.О.; власник НУХТ. - № 2002021242; заявл. 14.02.2002; опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12.