

Досвід впровадження в виробництво вискоефективного тепло- та масообмінного обладнання. Від теорії до впровадження

В. А. Мельник, директор, ТОВ Науково-виробниче підприємство «Енерготехнологія»

В.О. Бойко, к.т.н., 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)»

М. М. Азарков, генеральний директор ТОВ ТД «Шепетівський цукор»

В. П. Сікорський, голова правління ТзОВ «Радехівський цукор»

О. Г. Кулич, заступник генерального директора ТзОВ «Радехівський цукор»

В. П. Шостак, головний інженер ТзОВ «Радехівський цукор»

О.С. Семенина, начальник виробництва ТзОВ «Радехівський цукор»

В.І. Лоїк, начальник продуктового цеху ТзОВ «Радехівський цукор»

Я.О. Скрипник, головний інженер ТОВ «Краєвид»

С.В. Григор'єв, головний інженер ТзОВ «Радехівський цукор» Збаражськевиробництво»

Представлено досвід впровадження в виробництво вискоефективного тепло- та масообмінного обладнання.

Ключові слова: інтенсифікація, підігрівник, теплообмін, утфільна пара.

Представлено опытвнедрения в производство высокоэффективного тепло- и массообменного оборудования.

Ключевые слова: интенсификация, подогреватель, теплообмен, утфельный пар.

Presented by the experience of the introduction in the production of highly efficient heat and mass transfer equipment

Keywords: intensification, preheater, heat exchange, pan vapour.

Науковці кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій (ТЕХТ НУХТ), разом з спеціалістами ТОВ НВП «Енерготехнологія», ПрАТ «Українська технологічна компанія» (ПрАТ «УТК») і цукрових заводів продовжують працювати над проектуванням, виготовленням і впровадженням у виробництво вискоефективного вітчизняного тепло-технологічного устаткування модернізацією встановленого.

Основна ціль – нове устаткування повинно бути уніфікованим, надійним, компактним, легкодоступним в обслуговуванні, максимально використовувати потенціал нагрівної пари і мати перевагу в лінійці цін з аналогами вітчизняного і зарубіжного виробництва, а встановлене існуюче устаткування – мати оптимальні теплотехнічні показники за рахунок модернізації конструкції та схеми підключення по пару, конденсату і відведенню неконденсованих газів.

Теоретичний і конструкторський напрямок,

взятий за основу при проектуванні, відображено в статті [1].

Багаторічний досвід обслуговування тепло-технологічних схем цукрових заводів, скомпонованих різними типами підігрівників і науковий потенціал кафедри ТЕХТ НУХТ, дозволив розробити, випробувати та впровадити в виробництво теплообмінники з оптимальними конструктивними і енергетичними характеристиками, а також провести модернізацію встановленого устаткування на ряді підприємств [1].

Повертаємось до аналізу роботи тепло-технологічного устаткування, що використовується для нагрівання технологічних продуктів цукрового виробництва екстра парами випарної станції (ВС) на цукрових заводах України і ближнього зарубіжжя, в умовах суттєвого приросту потужності підприємств.

В час, коли гостро стоїть питання зменшення витрати палива на виробництво, багато підприємств наростили потужність, провели частко-

Величина різниці температури між нагрівною парою до підігрівника і безпосередньо в ньому

| Найменування | Нагрівна пара | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | ретурна | Вторинна пара 1 корпус ВУ | Вторинна пара 2 корпус ВУ | Вторинна пара 3 корпус ВУ | Вторинна пара 4 корпус ВУ |
| Величина різниці температури між нагрівною парою до підігрівника і безпосередньо в ньому $\Delta t_{вх.}$, °С. | 1 | 2 | 2,5-3 | 3-3,5 | 3,5-4 |

ву заміну та модернізацію встановленого устаткування, впровадили раціональні тепло технологічні схеми, перейшли на альтернативні природньому газу види палива. Ці заходи призвели до суттєвого зменшення питомої ваги палива в собівартості продукції.

Розглянемо модернізацію теплових схем та встановленого тепло-технологічного устаткування станцій технологічних продуктів. Один із шляхів модернізації теплових схем - це збільшення кратності випаровування соків на ВС за рахунок максимально можливого використання потенціалу екстра парів останніх корпусів ВС, вакуум-апаратів і конденсатів в тепло технологічному комплексі підприємства. Вже багато років, альтернативно фізично зношеним, знятим з виробництва кожухотрубним підігрівникам типу «решофер», служать секційні підігрівники. Наразі, теплові схеми цукрових заводів оснащені такими підігрівниками: кожухотрубними (типу «решофер»), секційними (1-го - 5-го покоління), пластинчатими, кожухотрубними (конструкції кафедри ТЕХТ НУХТ і ТОВ НВП «Енерготехнологія»), а також змієвиковими і спіральними [3].

Кількість тепла, яка передається для нагрівання продукту в підігрівнику, визначається за формулою:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta T, \text{ кДж/т}, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, кДж/(м²*год*град);

F – поверхня нагрівання, м² ;

ΔT – логарифмічна різниця температур, ° С.

Як бачимо, для максимально можливого нагрівання

продукту в підігрівнику до температури нагрівної пари потрібно нарощувати поверхню нагрівання або збільшувати коефіцієнт теплопередачі. При розробленні конструкції нових підігрівників і модернізації існуючих ми пішли шляхом збільшення ефективності його роботи в умовах цукрового виробництва[1].

На багатьох підприємствах станції нагрівання технологічних продуктів в основному складаються з секційних підігрівників в вертикальному та горизонтальному виконанні. Це пояснюється тим, що в умовах заводських майстерень можливе самостійне виготовлення трубних решіток і секцій, з яких компонується підігрівник.

Також, на заводах залишається велика кількість встановлених секційних підігрівників типу А2-ПТС, виготовлених згідно технічної документації Смілянського машинобудівного заводу, де в підігрівниках було вмонтовано паровий ежектор в паро приймальній камері, призначення якого – подолання опору на вході парів міжтрубний простір кожної секції підігрівника і вирівнювання потенціалу пари в них. Але дане рішення є невдалим, оскільки, по-перше, відбувається накопичення газів у середній частині нагрівної камери та погіршення системи вентиляції, а, по-друге, має місце звуження прохідного перерізу для проходження нагрівної пари. Тому необхідно виконати їх підключення в теплову схему таким чином, щоб зменшити опір на вході пари до мінімуму і організувати вентиляцію парових камер для максимально можливого використання потенціалу нагрівної пари.

Таблиця 2

Кожухотрубні підігрівники типу пара-сік марки ПДС (типорозмір та конструктивні характеристики)

| № п/п | Найменування величини | Позначення | Типорозмір теплообмінників | | | | |
|-------|---------------------------|------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | Розмірність | ПДС -500-4 | ПДС -500-2 | ПДС -600-2 | ПДС -700-4 |
| 1 | Поверхня нагріву | $F_{наг}$ | м ² | 40 | 41 | 50 | 75 |
| 2 | Зовнішній діаметр корпусу | $D_{зов}$ | мм | 530x10 | 530x10 | 630x10 | 720x10 |
| 3 | Маса апарату | $m_{ап}$ | кг | 1316 | 1192 | 1830 | 1830 |
| 4 | Ширина | | мм | 903 | 903 | 1022 | 1079 |
| 5 | Висота | | мм | 993 | 817 | 960 | 1168 |
| 6 | Довжина* | | мм | 5195 | 5195 | 5350 | 5382 |

* - залежить від довжини трубки (Довжина трубки 3500-4500 мм).

Розроблено документацію на ПДС- 800, 900, 1000, 1200, в залежності від потужності підприємства

Підігрівник дифузійного соку на утфельній парі ПДСУ
(типорозмір та конструктивні характеристики)

| № п/п | Найменування величини | Позначення | Розмірність | Типорозмір теплообмінників | | | | |
|-------|----------------------------|-------------------|----------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| | | | | ПДСУ-1400-4 | ПДСУ-1600-3 | ПДСУ-1800-3А | ПДСУ-1800-3 | ПДСУ-2000-4 |
| 1 | Поверхня нагріву | $F_{\text{наг}}$ | м ² | 110-161 | 127-185 | 185 | 204-300 | 271 |
| 2 | Зовнішній діаметр корпусу | $D_{\text{зов}}$ | мм | 1420x12 | 1620x12 | 1820x12 | 1820x12 | 2020x12 |
| 3 | Витрата соку | $G_{\text{соку}}$ | т / год | 100-150 | 120-160 | 150-190 | 160-250 | 200-270 |
| 4 | Маса апарату суха* | $m_{\text{ап}}$ | кг | 3383 | 5440 | 6155 | 6550 | 10500 |
| 5 | Продуктивність цукрозаводу | A | т бур/ добу | 2000 – 3000 | 2400-3200 | 2700-3800 | 3200-5000 | 4000-5400 |
| 6 | Ширина | | мм | 1796 | 1997 | 2197 | 2197 | 2398 |
| 7 | Висота | | мм | 1569 | 2072 | 2272 | 2272 | 2406 |
| 8 | Довжина* | | мм | 4748 | 4975 | 4975 | 4975 | 5327 |

* - величина залежить від довжини трубки.

За досвідом реконструкції секційних підігрівників перед ВУ на Згурівському, Моївському цукрових заводах та ряду інших підприємств можна стверджувати, що при відсутності ежектора та організації оптимального паропотока в секціях підігрівників можливо зменшити різницю температур між нагрівною парою до підігрівника і безпосередньо в ньому на величину $\Delta t_{\text{вх}}$.

На даний час розроблено технічну документацію на модернізацію секційних підігрівників «цехового» виробництва [1], що встановлені на підприємствах, та призначені для нагрівання технологічних продуктів цукрової промисловості і обігриваються екстра парами випарної установки, а також налагоджено випуск і впровадження в виробництво кожухотрубних підігрівників, що виготовляються по конструкторській документації ТОВ НВП «Енерготехнологія» на машинобудівному підприємстві ПрАТ «УТК» (табл. 2, табл. 3, рис. 1)[4].

Розроблено документацію на ПДС- 800, 900, 1000, 1200, в залежності від потужності підпри-

ємства

Підігрівники розраховані на нагрів від початкової температури дифузійного соку 20 °С до кінцевої температури дифузійного соку 52 °С на величину відкачки 120% до маси буряків.

Наразі хотілося б поділитися досвідом виготовлення і впровадження в виробництво в 2016 році підігрівників, що споживають тепло низькопотенційної пари вакуум апаратів першої кристалізації, на Радехівському і Шепетівському цукрових заводах, що були змонтовані, відповідно, у горизонтальному і вертикальному виконанні.

Для Радехівського цукрового заводу було запропоновано проводити нагрівання дифузійного соку перед пульпо вловлювачами в двох підігрівниках ПДСУ-2000, розроблено схему підключення їх по соку і парі. Згідно умов тендера монтажні роботи виконувало підприємство-виготовлювач устаткування ПрАТ «УТК» відповідно схем, розроблених спеціалістами ТОВ «НВП Енерготехнологія» і погоджених з технічно експлуатаційною службою підприємства.

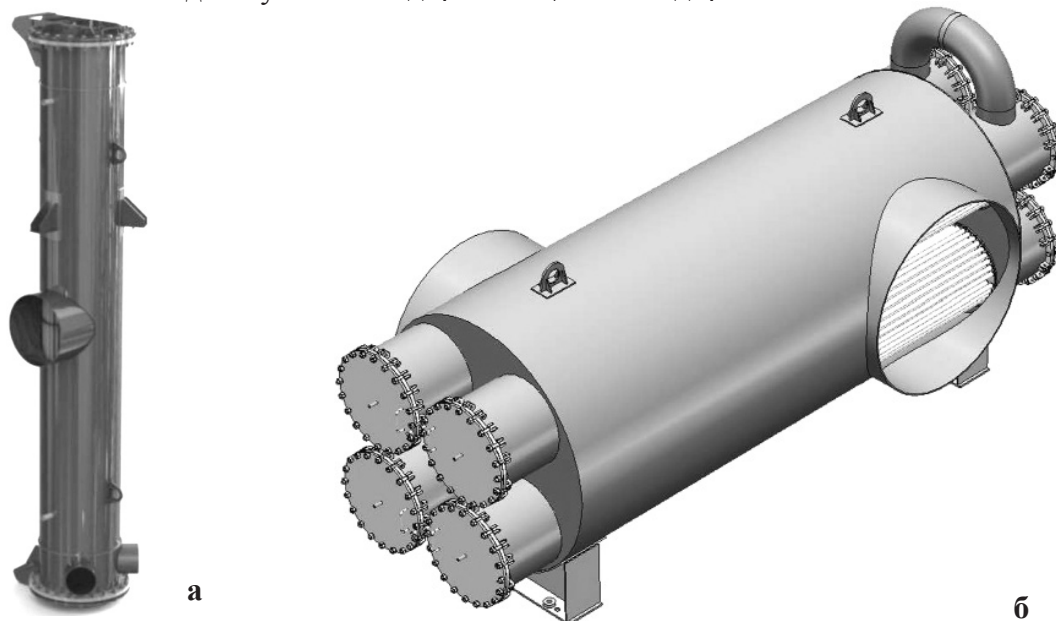


Рис.1. Підігрівники ПДС (а) та ПДСУ (б) ТОВ НВП «Енерготехнологія»

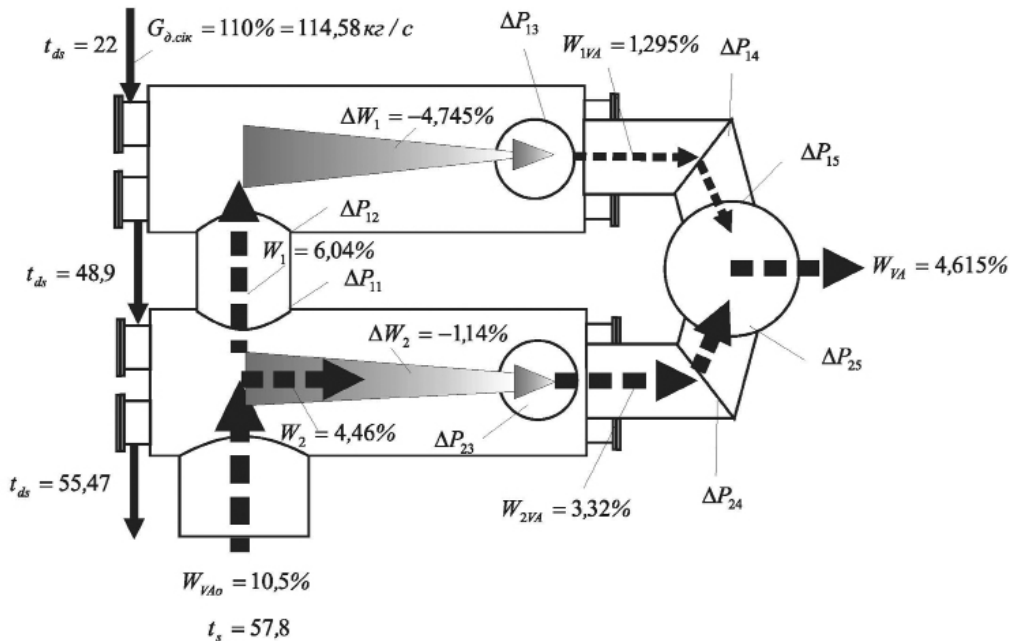


Рис.2. Схема та величини потоків пари в підігрівачах

Завод-виготовлювач виконав виготовлення підігрівників в термін, обумовлений умовами Контракту.

Монтажні роботи і гідравлічні випробування підігрівників ПДСУ-2000 проведено підприємством ПрАТ «УТК» під технічним супроводом спеціалістів ТОВ НВП «Енерготехнологія». Гідравлічне випробування підігрівників і паропроводів підключення проведено методом набору їх водою, об'ємом 63 м³, під тиском 0,6 МПа, з витримкою протягом 72 годин. Під час гідро випробування дефектів устаткування і монтажних робіт не виявлено і підписано Акт приймання робіт.

Під час виконання монтажних робіт, на вимогу власників і керівництва підприємства, для підтвердження запропонованої схеми підключення підігрівників по пару науковцями кафедри ТЕХТ НУХТ виконано тепло-гідравлічний розрахунок теплової ефективності і розподілу потоків уфільної пари в між трубному просторі підігрівників. Схема та величини потоків пари в підігрівачах представлено на рис. 2.

Результати розрахунку

Розрахунок виконано на потужність перероблення А = 9000 тонн буряків за добу на відкачку соку з дифапаратів 110 %.

Середня витрата пари з вакуум апаратів 1 кристалізації при концентрації сиропу 72% становить W_{vao} = 10,5 % до м.б. або в кг/с.

$$G_{vao} = \frac{AW_{val}}{241003,6} = 10,94 \frac{кг}{с} \quad (2)$$

При розрідженні на вакуум-апаратах P_{BAK} = 0,82 бар температура насичення пари t_s = 57,83°C.

Витрата соку - G = 110% = 412,5 т/год = 114,58 кг/с.

Кількість пари, що сконденсувалась на підігрівачі №1 - ΔW1 = 4,745%.

Кількість пари, що сконденсувалась на підігрівачі №2 - ΔW2 = 1,138%.

Загальна кількість пари, що сконденсувалась на підігрівачах №1+№2

$$\Delta W = 5,884 \% \text{ до м.б.} \quad (3)$$

При температурі пари 57 °С та витраті соку G = 110% = 412,5 т/год = 114,58 кг/с

- температура соку на вході в підігрівач №1 – 22 °С,
- температура соку на виході із підігрівача №1 – 48,9 °С,
- температура соку на виході із підігрівача №2 – 55,4 °С.

Після входу загальної кількості пари 10,5% на підігрівач №2 в нагрівній камері відбувається розгалуження потоку пари на два паралельні потоки – перший проходить з'єднувальний паропровід діаметром 1400 мм на підігрівач № 1 (холодний), в який поступає холодний сік, другий – проходить підігрівач №2.

Оскільки потоки пари паралельні їх витрати по кожній лінії обернено пропорційні аеродинамічному опору з врахуванням частини пари, що конденсується на стінках теплообмінних труб при однаковому падінні тиску в підігрівачах.

Розрахунок зводиться до виявлення такого перерозподілу потоків пари, при якому втрати тиску по кожній лінії однакові відповідно до аеродинамічного опору кожної лінії.

Основні втрати тиску мають місце на місцевих опорах – звуженнях, розширеннях та поворотах. Втрати тиску від тертя на коротких ділянках на порядок менше і не враховувались.

По лінії потоку пари на підігрівачі №2 втрати тиску мають місце на звуженні на виході із теплообмінника ΔP₂₃, на повороті ΔP₂₄, на звуженні в загальну трубу ΔP₂₅.



Рис. 3. Вид змонтованих підігрівників дифузійного соку ПДСУ-2000, що обігрівається вторинною парою вакуум-апаратів I кристалізації

По лінії потоку пари на підігрівачі №1 втрати тиску мають місце на звуженні на виході із теплообмінника в перехідний трубопровід ΔP_{11} , на вході із перехідного трубопроводу в теплообмінник №1 ΔP_{12} , на звуженні із підігрівача №1 ΔP_{13} , на повороті ΔP_{14} , на звуженні в загальну трубу ΔP_{15} .

Підігрівники задіяні в виробництво з початку виробництва цукру незамінним елементом теплової схеми. Незважаючи на відхилення в потужності під час виробництва, устаткування схеми нагрівання утфільною парою з вакуум апаратів I кристалізації надійно відпрацювало. Величина недогріву дифузійного соку до температури нагрівної пари протягом сезону переробки цукрових буряків становила 1,5 – 2,5 °С.

На замовлення ТОВ ТД «Шепетівський цукровий завод» машинобудівним підприємством ПрАТ «УТК» виготовлено підігрівник ПДСУ-1800 в терміни обумовлені Договором. В ремонтний період 2016 року силами монтажних бригад підприємства ПМУ «Харківцукоравтомат», по технічній до-

кументації ТОВ НВП «Енерготехнологія», змонтовано і впроваджено в виробництво підігрівник для нагрівання дифузійного соку після пульпоуловлювачів, що споживає утфільну пару вакуум апаратів I кристалізації, в вертикальному виконанні і реконструкцію існуючої вакуум конденсаторної установки (ВКУ) шляхом заміни форсунок на водо-розподільчі полиці для більш ефективного використання потенціалу води в якості конденсуючого агента. Шеф нагляд за проведенням робіт виконувався силами технічної служби підприємства і представників ТОВ НВП «Енерготехнологія». За ініціативою директора технічного Б. Д. Капітовського, з метою дотримання санітарних норм і підтримання сталого температурного режиму, виконано покриття теплоізоляцією поверхні утфільного підігрівника.

Устаткування введено в роботу з початку виробництва і надійно відпрацювало весь період з наступними показниками:

- відкачка дифузійного соку 110-112% до

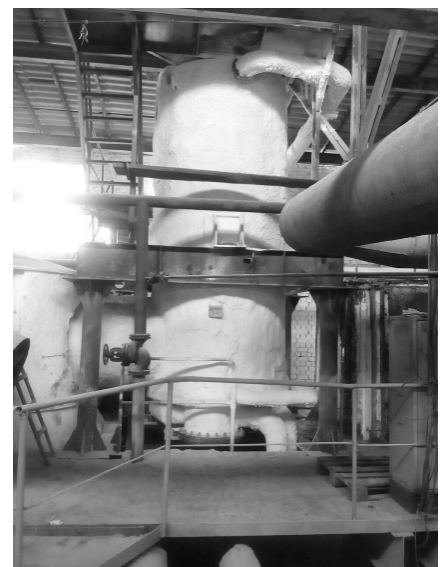


Рис. 4. Вид виготовленого і змонтованого підігрівника дифузійного соку ПДСУ-1800, що обігрівається вторинною парою вакуум-апаратів I кристалізації

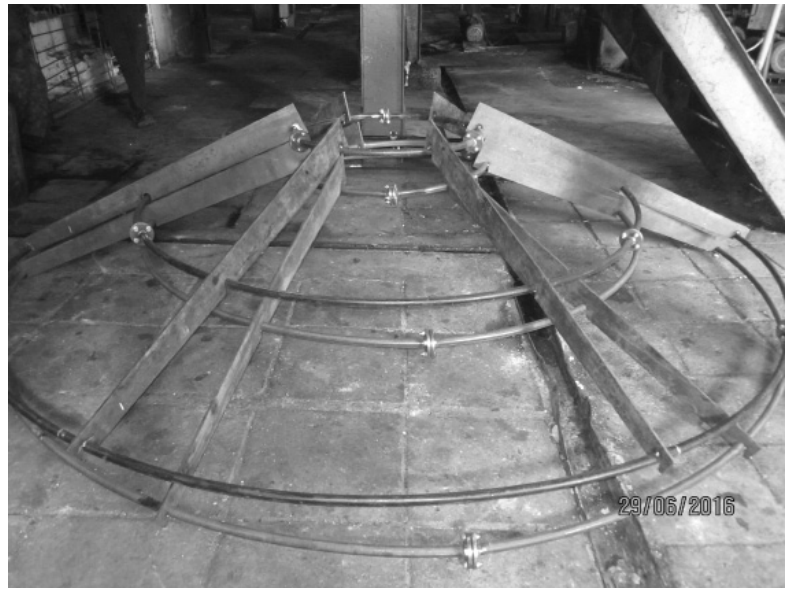
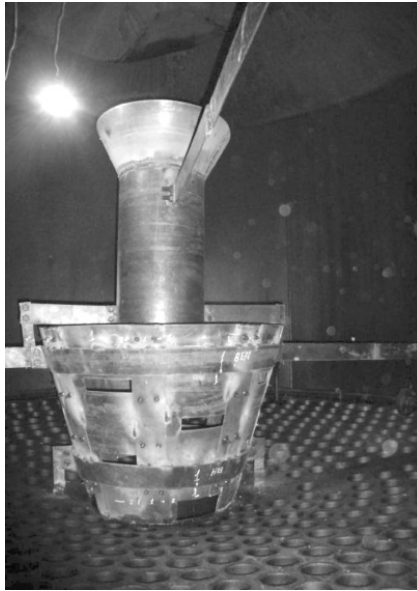


Рис. 5. Гідродинамічний підсилювача циркуляції уварювання утфілю ГДПЦУУ-60

маси буряка (продуктивність підприємства 3600-3800 тонн буряків за добу);

– величина вакууму в системі від -0,85 до -0,87 бар (температура вторинної пари вакуум-апаратів 1 кристалізації 54°C - 55°C);

– початкова температура дифузійного соку 25-28 °С;

– кінцева температура дифузійного соку 48°C - 52°C.

Разом з тим, науковці кафедри ТЕХТ НУХТ, інженери ТОВ НВП «Енерготехнологія», ТОВ «Краєвид» (Згурівський цукровий завод) і ПАТ «ДОБРОБУТ» (Шепетівський завод із виготовлення сільськогосподарської техніки), продовжують працювати над розробленням технічної документації, випуском і впровадженням в виробництво гідродинамічних підсилювачів циркуляції уварювання утфілю в вакуум апаратах з природною циркуляцією [2]. В 2016 році виготовлено і впроваджено в виробництво на вакуум апарат третьої кристалізації Ж4-ПВА для ТОВ «Краєвид» і на три вакуум апарати першої кристалізації Л4-ПУ-2А-60 (ВАЦ-600) на ТОВ ТД «Шепетівський цукор».

Висновок

Таким чином, досвід впровадження у тепло-ві схеми цукрових заводів вискоелективного тепло- та масообмінного обладнання, розроблено-госпекціалістами ТОВ НВП «Енерготехнологія»

та науковцями кафедри ТЕХТ НУХТ, що виготовляється на вітчизняних підприємствах (ПрАТ «УТК», ПАТ «ДОБРОБУТ»), показує про їх надійну та стабільну роботу з реальним і відчутним економічним ефектом.

Список використаних джерел

1. *Досвід реалізації інтенсифікації теплообміну в підігрівниках цукрових заводів* / В. А. Мельник, А.О. Білевич, В.О. Бойко, М.О. Прядко, С.А.Наумчик, О.М. Корчемна, А.А. Гладжко, В.В. Коднев // Цукор України. – 2015. – №3(111). – С. 11-14.

2. *Впровадження в виробництво гідродинамічних підсилювачів циркуляції конструкції ТОВ НВП «Енерготехнологія» в вакуум-апаратах I-ї, II-ї та III-ї кристалізації на ТОВ «Краєвид» (Згурівський цукровий завод) та ТОВ «Шугер К» (Капустянський цукровий завод)* / В.О. Бойко, В. А. Мельник, В.А.Харченко, та інші // Цукор України. – 2014. – №12(108). – С. 11-12.

3. *В.П. Петренко. Порівняння ефективності роботи теплообмінних апаратів. Цукор України. - 1996-№2(145).-С 19-20.*

4. *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.