

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису

Бойко Володимир Олександрович



УДК 66.011:66.021.3/4:664.1.033

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Спеціальність: 05.14.06. - Технічна теплофізика та промислова
теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Масліков Михайло Олександрович,
Національний університет харчових технологій, м.Київ,
доцент кафедри теплоенергетики та холодильної
техніки

Офіційні опонент: доктор технічних наук, професор
Ткаченко Станіслав Йосипович,
Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця,
завідувач кафедри теплоенергетики

кандидат технічних наук, доцент
Штангєєв Костянтин Остапович,
Інститут післядипломної освіти Національного
університету харчових технологій, м. Київ,
завідувач кафедри виробництва цукру та сахаридів

Захист відбудеться « 15 » червня 2012 року о 14-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул.. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул.. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий « 15 » травня 2012 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої
ради К 26.058.05,
кандидат технічних
наук, доцент



В. М. Філоненко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність роботи. Виробництво цукру є важливою галуззю в агропромисловому комплексі України.

Одним із шляхів підвищення ефективності діяльності підприємств цукрової промисловості є впровадження інновацій, модернізації обладнання, тощо, де за мету поставлено отримання якісної продукції з мінімальними затратами у тому числі енергетичними.

У зв'язку з цим актуальним є проектування нових і експлуатація вже існуючих тепло-технологічних комплексів підприємств з високими техніко-економічними показниками.

За останні роки ціна на енергоресурси стрімко зросла, тому для вітчизняних підприємств гостро стало питання зменшення питомих витрат палива на технологічний процес.

Одним із напрямів зменшення енергоємності цукрового виробництва є визначення і підтримання оптимальних умов роботи тепло-технологічного обладнання, від яких залежить ритмічність виробництва, якість та собівартість продукції, а також продуктивність всього підприємства. Цьому сприяє розроблення й використання математичних моделей для вивчення та моделювання тепло-масообмінних процесів, конфігурації теплового обладнання на стадії його розробки, а також для оптимального автоматичного керування обладнанням під час експлуатації.

Крім цього математичні моделі тепло-технологічних схем дають змогу швидкого прогнозувати результати роботи підприємства.

Актуальним є створення адекватних математичних моделей тепло-технологічних схем для оцінки їх показників ефективності та знаходження межі вкладання коштів. Такі моделі можуть бути використані для проведення обчислювального експерименту, а також для розроблення системи оптимального управління елементами тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва.

Такими елементами тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва є дифузійний апарат, вакуум-апарат, випарний апарат та випарна установка в цілому.

Визначення кінцевих параметрів процесу екстракції в дифузійному апараті дозволяє визначити ступінь використання вторинних енергетичних ресурсів тепло-технологічної схеми підприємства.

На процеси уварювання та кристалізації утфеля кристалізаційне відділення цукрового заводу використовує до 45 % пари, що надходить на підприємство. Споживання цієї пари нерівномірне, що суттєво впливає на ритмічність роботи випарної установки і тепло-технологічної схеми в цілому. Адекватна модель витрати пари на вакуум-апарат і кристалізації дозволяє визначити та змодельовати характер зміни теплового навантаження випарної установки. Враховуючи дане збурення автоматична система керування має можливість оптимізувати процес з метою мінімізації витрати тепла на технологію.

Таким чином, моделювання і як наслідок оптимальне керування елементами тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва є актуальною задачею,

розв'язання якої потребує комплексу теоретичних та експериментальних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно плану держбюджетної науково-дослідної тематики кафедри теплоенергетики та холодильної НУХТ “Розроблення математичних моделей теплотехнологічних об'єктів харчової промисловості та їх програмного забезпечення” та у відповідності з тематикою науково-дослідної роботи НУХТ “Розроблення теоретичних та методологічних засад оптимізації теплотехнологічних комплексів цукрових виробництв” (2005-2007 р.р., номер держреєстрації 0105U001189, код ЄДРПОУ 02070938).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – на основі комплексних теоретичних та експериментальних досліджень процесів тепло- та масообміну в тепло-технологічному обладнанні цукрового виробництва (дифузійний апарат, випарний апарат та випарна установка в цілому, вакуум-апарат періодичної дії з вимушеною циркуляцією 1 кристалізації) *удосконалити існуючі методи їх аналізу та розрахунку, а також* науково обґрунтувати та розробити їх математичні моделі, як *основи для їх автоматизації*.

Відповідно до поставленої мети дослідження сформульовані та вирішені наступні основні завдання:

- розробити математичну модель похилої двошнекової дифузійної установки;
- провести експериментальні дослідження по визначенню показників екстракції двошнекової дифузійної установки і перевірити адекватність створеної математичної моделі;
- провести експериментальні дослідження зміни параметрів роботи промислового вакуум-апарата 1 кристалізації;
- провести математичне узагальнення отриманих результатів дослідження та розробити математичну модель для визначення продуктивності вакуум-апарата під час уварювання утфелю;
- змоделювати зміну витрати пари на процес уварювання утфелю вакуум-апаратами 1 кристалізації;
- визначити вплив зміни продуктивності вакуум-апаратів 1 кристалізації на зміну продуктивності корпусів випарної установки шляхом визначення часу наростання пікової концентрації розчину.

Об'єктом дослідження є елементи тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва (дифузійний апарат, вакуум-апарат, випарний апарат та випарна установка в цілому).

Предметом дослідження є тепломасообмінні процеси в елементах тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва та їх показники роботи.

Методи дослідження - експериментальні із застосуванням сучасних засобів автоматизації вимірювального комплексу, математичного моделювання та статистичного оброблення результатів експериментального дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів.

вперше:

- розроблено математичну модель похилої двошнекової дифузійної установки;

- проведено експериментальне дослідження процесів тепло- та масообміну, які відбуваються в вакуум-апараті періодичної дії з вимушеною циркуляцією;
- розроблено математичну модель вакуум-апарата 1 кристалізації;
- в результаті моделювання вакуум-апарата 1 кристалізації визначено вплив зміни продуктивності вакуум-апаратів 1 кристалізації на продуктивність корпусів випарної установки;
- визначено час наростання пікової концентрації розчину в корпусах випарної установки шляхом математичного моделювання процесу його концентрування;

вдосконалено:

- методику по визначенню показників екстракції двошнекової дифузійної установки;

набуло подальшого розвитку:

- дослідження зміни продуктивності вакуум-апарата під час уварювання утфелю

Практичне значення одержаних результатів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень вдосконалена методика розрахунку дифузійного відділення (математична модель). Дана модель дає можливість на підставі заздалегідь відомих даних (дигестія цукрового буряку) прогнозувати режимні параметри роботи дифузійного відділення та виходячи з ціни на готову продукцію і паливо оптимізувати роботу підприємства в цілому. Дана методика може бути використана для вивчення та моделювання тепломасообмінних процесів, конфігурації теплового обладнання на стадії його розроблення, а також для оптимального автоматичного керування обладнанням під час експлуатації.

Математична модель зміни витрати пари на процес уварювання утфелю вакуум-апаратами 1 кристалізації дає змогу визначати вплив на зміну продуктивності корпусів випарної установки. Отримані результати можуть бути використанні при розробці алгоритму управління системи регулювання вакуум-апаратом, при розрахунках теплових схем цукрових заводів, для математичного моделювання випарної установки.

Результати роботи використовуються в начальному процесі на кафедрі теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій.

Розроблені математичні моделі використовуються при реконструкціях та проектуванні теплотехнологічних схем цукрових заводів України та СНД.

Особистий внесок у розробку результатів.

Дисертація є підсумком досліджень автора. Ним обґрунтовано актуальність теми, проаналізована наукова література з даної проблеми, сформульовані завдання дослідження, проведено фізичні та чисельні експерименти, оброблено та узагальнено результати проведених чисельних експериментів та фізичних досліджень у виробничих умовах, підготовлено та опубліковано результати досліджень, а також апробовано результати роботи на конференціях.

Автором запропоновано вдосконалену методику (математичну модель) визначення режимних параметрів роботи похилої дифузійної установки (в тому числі кінцеву температуру дифузійного соку, що відбирається на подальшу обробку).

Автором розроблено схему дослідної установки та методику проведення експериментальних досліджень.

У співавторстві з к.т.н. В.П. Петренком та д.т.н. М.О.Прядком проведено розроблення математичної моделі процесу випарювання в багатокорпусній випарній установці.

У роботах, які виконані у співавторстві з науковим керівником, автору належать основні ідеї.

Обговорення, аналіз та узагальнення результатів досліджень проведено з науковим керівником к.т.н. Масліковим М.О.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на:

66-78-й наукових конференціях молодих вчених, аспірантів і студентів (Київ, НУХТ, 2000-2012 рр.);

міжнародній науково-практичній конференції (Київ, НУХТ, 2003 р.);

IX міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи» (Київ, НУХТ, 2005 р.);

міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи» (Київ, НУХТ, 2010 р.);

науково-технічній конференції цукровиків України «Цукровий бізнес в умовах національного та світового ринку» (Київ, НУХТ, 2010 р.)

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 25 друкованих праць, з них 3 статті у наукових фахових журналах та 2 у збірниках наукових праць, перелік яких затверджено ВАК України, 18 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури, який включає 102 найменування вітчизняних і зарубіжних джерел, і 4 додатків. Робота викладена на 130 сторінці основного тексту, містить 27 рисунків і 14 таблиць.

Основні положення, що виносяться на захист. Результати експериментальних досліджень по визначенню режимних параметрів роботи похилої дифузійної установки; результати експериментальних досліджень по визначенню витрати пари вакуум-апаратом з механічної циркуляцією; математична модель похилої двошнекової дифузійної установки; математична модель зміни витрати пари на процес уварювання утфелю вакуум-апаратами 1 кристалізації; математична модель вплив зміни продуктивності вакуум-апаратів 1 кристалізації на зміну продуктивності корпусів випарної установки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи з точки зору важливості створення адекватних математичних моделей елементів тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва з метою його оптимізації та з урахуванням розвитку інформаційних технологій, переходу на мікропроцесорну техніку. Сформульована мета та задачі дослідження. Визначені наукова новизна та

практичне значення одержаних результатів. Вказано на апробацію результатів та кількість публікацій.

У першому розділі «Аналіз сучасного стану математичного моделювання елементів тепло-технологічного комплексу цукрового виробництва» проведено аналіз сучасного стану математичного моделювання тепломасообмінних процесів дифузійного відділення, математичного моделювання тепломасообмінних процесів у вакуум-апараті І продукту кристалізаційного відділення та процесу випарювання в багатокорпусній випарній установці цукрового виробництва.

Проаналізовано основні теоретичні та практичні положення проведення процесу екстракції сахарози із стружки цукрових буряків. Розглянуті різні дифузійні установки цукрової промисловості та загальні вимоги до організації процесу екстракції в них.

Проаналізовано роботи різних авторів по методикам розрахунку дифузійних апаратів безперервної дії, як елементів теплотехнологічного комплексу цукрового заводу і процесів, що в них відбуваються.

Аналіз методики розрахунку станції екстракції теплової схеми цукрового заводу показали, що температуру дифузійного соку і вміст цукру в ньому та жомі не розраховують, а приймають наближено. Тому актуальним є уточнення методики розрахунку дифузійного відділення і визначення вищевказаних параметрів.

Проаналізовано існуючі математичні моделі вакуум-апаратів періодичної дії. Розглянуто технологічні особливості процесу варіння, гідродинаміку та теплообмін у вакуум-апаратах, існуючі експериментальні дослідження споживання пари вакуум-апаратом для ведення процесу кристалізації цукру.

Встановлено, що для перевірки адекватності математичної моделі кристалізаційного відділення наявних в літературі дослідних даних недостатньо через складність об'єкта таких досліджень, обумовлену специфікою тепломасообмінних процесів в трьохфазних середовищах під час кристалізації та різноманітністю конструктивних рішень апаратів та їх продуктивностей.

Тому актуальним є подальше дослідження процесів тепло- та масообміну в вакуум-апараті періодичної дії, а особливо у вакуум-апаратах з вимушеною циркуляцією.

Проаналізовано математичні моделі випарних установок цукрового виробництва.

Встановлено, що в літературі недостатньо розглянуто питання моделювання впливу нерівномірності споживання пари вакуум-апаратами на роботу випарної установки та реакцію її на ці збурення.

На основі аналізу літературних даних зроблені наукові висновки, сформульовані конкретні завдання досліджень.

Визначено науково-технічні основи роботи та основні напрямки досліджень.

У другому розділі «Об'єкти та методи досліджень» наведено характеристику об'єктів та методів досліджень, умов проведення досліджень.

Дослідження проводилися на діючому похилому дифузійному апараті DC-8 виробництва Республіки Польща, встановленому на Згурівському цукровому заводі.

Технічна характеристика дифузійного апарата DC-8 за паспортом: продуктивність – 1800-2200 т/добу, втрати цукру в жомі – 0,25-0,35 % до маси буряку (при поляризації бурякової стружки 18%), оберти валів червяка – 1,2- 0,12 об/хв; сумарна споживана потужність – 90 кВт; відкачка соку – 110-115 % до маси буряку; споживання пари – 1,8 – 4 % до маси буряку; довжина бурякової стружки – 7-14 м/100 г.

Апарат оснащений системою автоматичного керування фірми «ЦАНТ» (Україна). В системі автоматизації використовується контролер TSX572623M «Premium» фірми SCHNEIDER ELECTRIC (Франція). На рис. 1 представлено мнемосхему автоматичного управління та контролю роботи похилого шнекового дифузійного апарата DC-8.

Для визначення режимних параметрів роботи похилої двошнекової дифузійної установки було використано наявні контрольно-вимірювальні прилади і автоматизацію (КВП і А) похилого шнекового дифузійного апарата DC-8 (табл.1).

Таблиця 1

Перелік засобів КВП і А похилого шнекового дифузійного апарата DC-8

№ п/п	Параметр	Позначення на схемі
1	Витрата бурякової стружки в дифузійний апарат	Fстр
2	Витрата живильної води в дифузійний апарат	Fпв
3	Витрата дифузійного соку із дифапарата	Fдс
4	Температура дифузійного соку на виході із дифузійного апарата	T1дс
5	Температура живильної води після пароконтактного підігрівника	Tпв

Крім цього, за допомогою безконтактного приладу для визначення температури тіла RAYNGER ST 60 було визначено температура стружки на вході в апарат $t_{ст_п}$;

Для дослідження зміни параметрів роботи промислового вакуум-апарата використано діючий вакуум-апарат для уварювання утфеля 1 кристалізації ВАЦМ-40 з механічними циркуляторами виробництва ТОВ «Фірма ТМА», встановлений на Згурівському цукровому заводі.

Технічна характеристика вакуум-апарата ВАЦМ-40: площа теплообміну – 192 м², місткість по звареному утфелю 40 т, показник циркуляції – 2,7.

Апарат оснащений системою автоматичного керування фірми «Віол-2» (Україна). В системі автоматизації використовується контролер MicroPC фірми Octagon Systems (США). Схема розміщення приладів для проведення дослідження наведена на рис. 2.

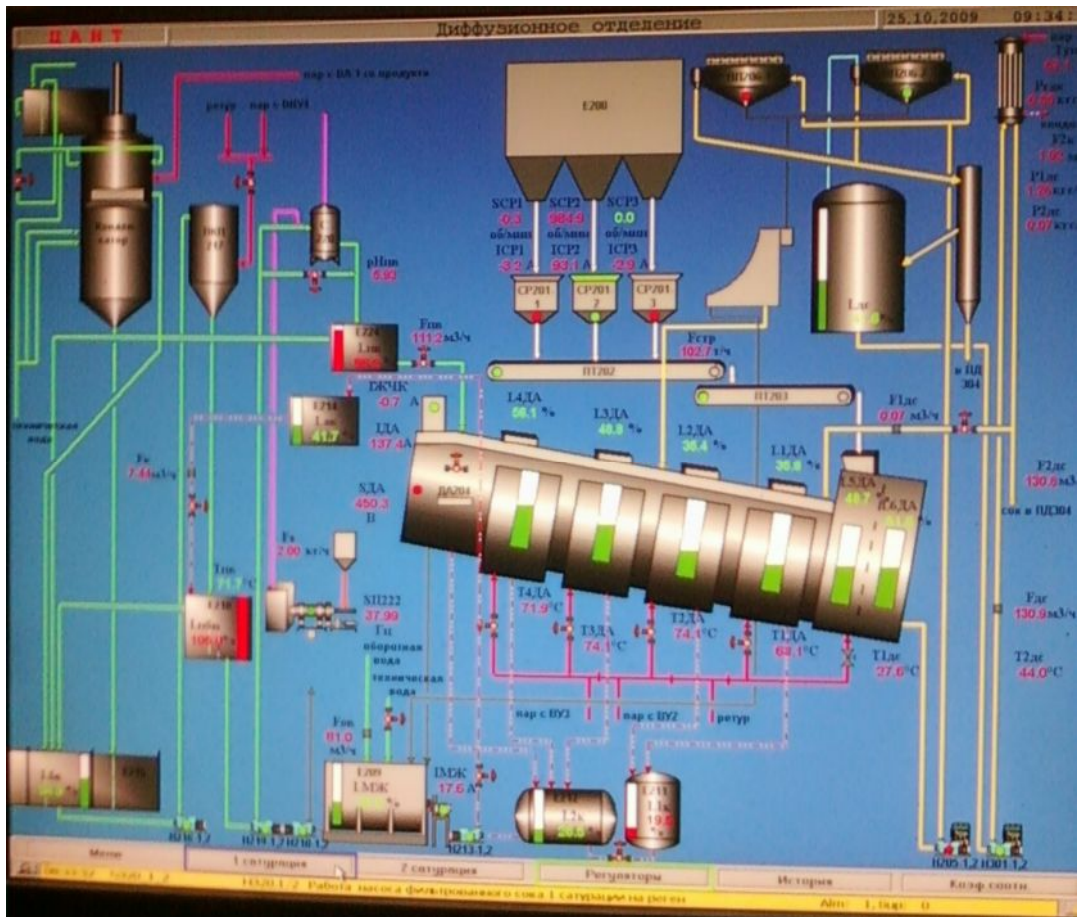


Рис 1. Мнемосхема системи автоматичного управління та контролю роботи похилого шнекового дифузійного апарату DC-8 Згурівського цукрового заводу

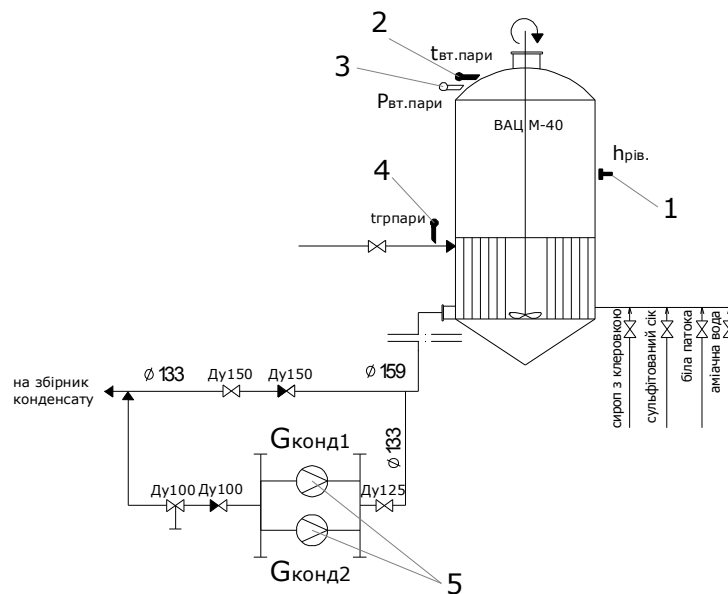


Рис 2. Схема розміщення приладів для проведення дослідження вакуум-апарату ВАЦМ-40

1 – мановакууметр для визначення рівня в апараті; 2 – термопара для визначення температури вторинної пари; 3 – вакууметр для визначення розрідження в апараті; 4 – термопара для визначення температури вторинної пари; 5 – витратоміри для визначення витрати конденсату.

Дослід проводився під час варки утфеля 1 кристалізації. Час дослід становить від 3 до 4 годин.

Використовуючи наявне контрольно-вимірвальне обладнання автоматичної системи управління фірми «Віол-2» проводилися вимірювання наступних параметрів процесу варки утфеля 1 кристалізації, а саме: гідростатичний рівень; температура вторинної пари вакуум-апарата; тиск вторинної пари вакуум-апарата; температура нагрівної пари вакуум-апарата (температура вторинної пари попередньо включеного 3а корпусу).

Крім встановленого контрольно-вимірвального обладнання за допомогою змонтованого на конденсатопроводі витратоміра конденсату було визначено витрату конденсату $G_{\text{конд}i}$ в i -тий момент часу, що дозволило визначити відповідну витрату пари $D_{\text{пар}i}$, зробивши припущення, що

$$D_{\text{пар}i} = G_{\text{конд}i} \quad (1)$$

Для визначення вмісту сухих речовин в сиропі з клеровкою використовувалися стандартні методи їх визначення, із застосуванням рефрактометра ИРФ-454Б2М.

Третій розділ «Математичне моделювання елементів комплексу» присвячений розробці математичних моделей елементів теплотехнологічного комплексу цукрового заводу.

Математичне моделювання теплових процесів дифузійного відділення цукрового виробництва

Запропонована математична модель процесу екстракції в похилому дифузійному апараті складається з трьох етапів.

1 етап – визначення реального часу перебування стружки в дифузійному апараті.

Час перебування стружки в апараті визначається зі знайденої інтерполяційної функції і враховує частоту обертання шнеків $n_{\text{ш}}$, коефіцієнт наповнення $\varphi_{\text{зап}}$, продуктивність апарата A .

$$\tau(n_{\text{ш}}, \varphi, A) = \frac{K_{\text{об}}(n_{\text{ш}}) \cdot (D_{\text{н}}^2 - d^2) \cdot L \cdot K \cdot \psi \cdot \eta \cdot q \cdot \varphi_{\text{зап}} \cdot m \cdot \varepsilon}{A} \quad (2)$$

де $D_{\text{н}}$ та d – відповідно діаметр шнека та вала, м; L - довжина шнеків, м; K – конструктивний коефіцієнт; q - питома навантаження стружки, $\text{кг}/\text{м}^3$; ε - експлуатаційний коефіцієнт; $K_{\text{об}}$ - коефіцієнт, що враховує частоту обертів шнеків

$$K_{\text{об}}(n_{\text{ш}}) = f(n_{\text{ш}}); \quad (3)$$

ψ - коефіцієнт, що враховує покриття шнеків

$$\psi = 1 - \frac{F_{\text{сер}}}{0,7854 \cdot (D_{\text{н}}^2 - d^2)}, \quad (4)$$

$F_{\text{сер}}$ - площа сегмента, м^2

$$F_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{н}}^2}{8} (\alpha_{\text{сер}} - \sin(\alpha_{\text{сер}})) \quad (5)$$

η - коефіцієнт, що враховує збільшення перерізу, що займає стружка по діаметру жолоба

$$\eta = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{D_{\text{ж}}^2}{D_{\text{н}}^2} \right) \quad (6)$$

2 етап – розрахунок теплообміну в дифузійному апараті з визначенням зміни температури екстракційної речовини t'_i та стружки $\bar{t}_i$ вздовж апарата проводимо за формулами

$$t'_i = \bar{t}_n + \varphi \cdot (t'_1 - \bar{t}_n); \quad (7)$$

$$\bar{t}_i = \bar{t}_n + \varphi \cdot (t_i - \bar{t}_n). \quad (8)$$

Для розрахунку тепломасообміну під час екстракції в дифузійному апараті нами використано метод, розроблений Г. Аксельрудом, що дає можливість з необхідною точністю враховувати масопередачу в процесі екстракції.

Розрахунок процесу теплообміну виконано інтервальним методом, який полягає в тому, що в часі (у процесі переміщення стружки вздовж апарата) весь процес поділяється на m інтервалів такої величини, щоб на кожному з них значення α, λ, γ можна було вважати сталим.

В процесі виконання розрахунків 2 етапу необхідно визначити значення приведенного радіусу стружки $R_{\text{стр}}$ за формулою

$$R_{\text{стр}} = 10^{-3} \cdot (3,036 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(1)^2 - 0,7351 \cdot \ln(1) + 3,414) \quad (9)$$

Рівняння безрозмірної температури θ на інтервалі має такий вигляд:

$$\theta = v_i / v_{i-1} = f(Bi_T, Fo_T, r), \quad (10)$$

де v_i – надлишкова температура екстрагента на i -у інтервалі, відрахована від середньої температури частинок; Bi_T – тепловий критерій Біо, $Bi_T = \alpha R / \lambda$ (α – коефіцієнт тепловіддачі від екстрагента до твердих частинок, Вт/(м²К); R – еквівалентний радіус частинок, м; λ – коефіцієнт теплопровідності частинок, Вт/(мК)); Fo_T – тепловий критерій Фур'є, $Fo_T = a \cdot \tau / R^2$ (a – коефіцієнт температуропровідності твердих частинок, м²/с; τ – час процесу, с); r – співвідношення витрат екстрагента та твердих частинок (коефіцієнт відкачки).

Форму стружки розглядаємо як циліндричну, тому для нескінченного циліндра:

$$\theta_i = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4Bi_T^2}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + Bi_T^2)} e^{-\frac{r-1}{r} \mu_n^2 Fo_T}, \quad (11)$$

де μ_n – корні характеристичного рівняння.

Величину приросту температури екстрагента на розрахунковій ділянці визначаємо наступним чином:

$$\Delta t'_i = v_{i-1} \frac{1 - \theta_i}{r - 1}. \quad (12)$$

Значення в кінці i -го інтервалу температури екстрагента та твердих частинок

$$t'_i = t'_{i-1} + \Delta t'_i. \quad (13)$$

Із формули (15) надлишкова температура екстрагента становить

$$\nu_i = \nu_{i-1} \cdot \theta_i. \quad (14)$$

Значення температури твердої частинки в кінці і-го розрахункового інтервалу становить

$$\bar{t}_i = t'_i - \nu_i. \quad (15)$$

Коефіцієнт розтягування (стягування) визначається наступним чином

$$\varphi = (t'_n - \bar{t}_n) / (t''_n - \bar{t}_n). \quad (16)$$

3 етап – визначення за даними розподілу температури залежних від неї параметрів та зміни концентрації цукру в стружці c_m й екстракційній речовині c_{0m} проводимо за нижче наведеними формулами:

$$c_{0m} = c_{0m-1} + k_m \cdot h \quad (17)$$

$$c_m = c_{0m} + \zeta_m \quad (18)$$

де m – кількість інтервалів на які розбиваємо всю довжину дифузійного апарату починаючи з другого, h – час інтервалу m , с; k_m – приріст концентрації на інтервалі m , %, ζ_m - надлишкова концентрація на проміжку m , %.

Математичне моделювання теплових процесів вакуум-апарата 1 продукту кристалізаційного відділення цукрового виробництва

Відомо, що інтенсивність споживання пари вакуум-апаратами має специфічні періоди залежно від стадії уварювання утфелю: 1 – набір апарата розчином для уварювання; 2- згущення; 3- заведення кристалів (кристалоутворення); 4 – рости 1–4 під час яких виконується підживлення розчином; 5 – відтік, коли підживлення виконується білою патокою; 6 – уварювання; 7 – утримання; 8 – вивантаження; 9 – пропарювання; 10 – набір вакууму.

Залежність витрати пари на вакуум-апарат в конкретному періоді можна описати рівнянням прямої.

Звідси витрати пари на вакуум-апарат протягом циклу варіння утфелю матиме наступний вигляд

$$D_{\text{пари}}(\tau_i) = k_j \cdot \tau_i + b_j \quad (19)$$

де k_j , b_j - коефіцієнт та поправка рівняння прямої j -го періоду в i -тий момент часу.

Для аналізу роботи декількох вакуум-апаратів, що за певним графіком включаються в роботу, кількість періодів можливо звести до трьох (рис.3).

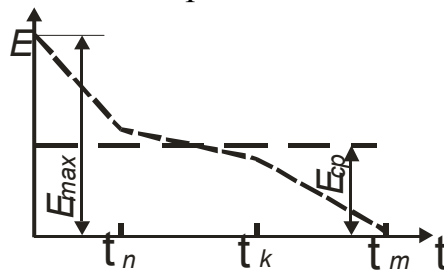


Рис.3 Характерний графік споживання пари вакуум-апаратами 1 кристалізації
Математично лінії на рис.4 апроксимуються функціями

$$E(\tau) = E_{\max} \left[1 - k_1 \frac{\tau}{\tau_m} \right] \quad \text{при } \tau < \tau_n, \quad (20)$$

$$E(\tau) = E_{\max} \left[1 - k_1 \left(\frac{\tau_n}{\tau_m} \right) - k_2 \left(\frac{\tau - \tau_n}{\tau_m} \right) \right] \quad \text{при } \tau_n \leq \tau < \tau_k, \quad (21)$$

$$E(\tau) = E_{\max} \left[1 - k_1 \left(\frac{\tau_n}{\tau_m} \right) - k_2 \left(\frac{\tau_k - \tau_n}{\tau_m} \right) - k_3 \left(\frac{\tau - \tau_k}{\tau_m} \right) \right] \quad \text{при } \tau_k \leq \tau < \tau_m \quad (22)$$

де $E_{\max}$ – початкове, в момент включення вакуум-апарата в роботу, максимальне пароспоживання; k_1, k_2, k_3 – кутові коефіцієнти для прямих характерних режимів.

Максимальне парове навантаження $E_{\max}$ визначається через середнє інтегральне та середнє балансове як

$$E_{\max} = \frac{E_{\text{ср}} \tau_m}{\int_0^{\tau_n} E_1(\tau) d\tau + \int_{\tau_n}^{\tau_k} E_2(\tau) d\tau + \int_{\tau_k}^{\tau_m} E_3(\tau) d\tau} \quad (23)$$

де $E_{\text{ср}} = G_{\text{сир}} \left(1 - \frac{CP_{\text{сир}}}{CP_{\text{утф}}} \right) + G_{\text{клер}} \left(1 - \frac{CP_{\text{клер}}}{CP_{\text{утф}}} \right) + G_{\text{бп}} \left(1 - \frac{CP_{\text{бп}}}{CP_{\text{утф}}} \right) + G_{\text{вп}}$ – балансове

середнє навантаження вакуум-апаратів 1 кристалізації; $E_1(\tau), E_2(\tau), E_3(\tau)$ – функції (30-32) для періодів $\tau \leq \tau_n$, $\tau_n \leq \tau < \tau_k$, та $\tau_k \leq \tau \leq \tau_m$; $G_{\text{сир}}$ – витрата сиропу; $G_{\text{клер}}$ – витрата клеровки, $G_{\text{бп}}$ – витрата білої патоки; $G_{\text{вп}}$ – водні підкачки; $CP_{\text{сир}}, CP_{\text{утф}}, CP_{\text{клер}}, CP_{\text{бп}}$ – масові концентрації сиропу, утфелю, клеровки та білої патоки, відповідно.

Графіки споживання пари при одночасній роботі декількох вакуум-апаратів отримується накладанням навантажувальних характеристик одна на одну зі зміщенням на половину періоду, (при роботі 2 апаратів), або на третину періоду (при роботі 3 апаратів) рис.5.

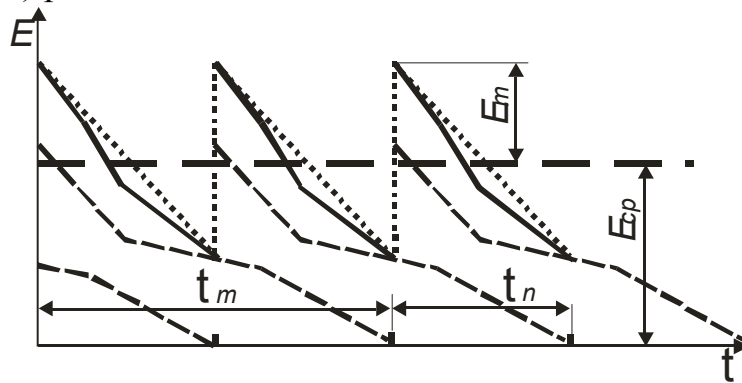


Рис.4. Графік споживання пари при одночасній роботі 2 вакуум-апаратів

Як видно з рис. 4, результуюча крива (суцільна лінія) зберігає лінійний характер, а відносний пік E_m стає меншим у відношенні до середнього значення $E_{\text{ср}}$ при збільшенні числа одночасно працюючих вакуум-апаратів. При цьому, амплітуда коливань концентрації сиропу після корпусів ВУ теж стає меншою.

Лінійна апроксимація результуючої кривої, зображеної на рис. 5, (верхня штрихова лінія) з деяким наближенням може бути надана у вигляді:

$$E(\tau) = E_m \cdot \left(1 - 2 \frac{\tau}{\tau_m}\right), \text{ при } \tau < \tau_n, \quad (24)$$

$$E(\tau) = E_m \cdot \left(1 - 2 \frac{(\tau - \tau_n)}{\tau_m}\right), \text{ при } \tau_n \leq \tau < \tau_m, \quad (25)$$

а відносний пік E_m як

$$E_m = E_{cp} - E(0,5 \cdot \tau_m), \quad (26)$$

де $E(0,5 \tau_m)$ - значення парового навантаження на вакуум-апарат в середині циклу уварювання згідно (30-32).

Математичне моделювання процесу випарювання в багатокорпусній випарній установці

Оскільки, випарний апарат з багатократною циркуляцією наближений до реактора ідеального змішування, концентрація розчину в об'ємі апарата практично співпадає з вихідною. За даних умов математична залежність вихідної концентрації сиропу для довільного корпусу 5-ти корпусної ВУ $C_i(\tau)$ в разі споживання вакуум-апаратами вторинної пари з корпус ВУ виражається системою рівнянь:

$$M_1 \frac{dC_1(\tau)}{d\tau} = G_o C_o - (G_o - W_1 - E(\tau)) C_1(\tau) \quad (27)$$

$$M_2 \frac{dC_2(\tau)}{d\tau} = (G_o - W_1 - E(\tau)) \cdot C_1(\tau) - (G_o - W_1 - W_2 - 2E(\tau)) \cdot C_2(\tau) \quad (28)$$

$$M_3 \frac{dC_3(\tau)}{d\tau} = (G_o - W_1 - W_2 - 2E(\tau)) C_2(\tau) - (G_o - W_1 - W_2 - W_3 - 3E(\tau)) C_3(\tau) \quad (29)$$

$$M_4 \frac{dC_4(\tau)}{d\tau} = (G_o - W_1 - W_2 - W_3 - 3E(\tau)) C_3(\tau) - (G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - 3E(\tau)) C_4(\tau) \quad (30)$$

$$M_5 \frac{dC_5(\tau)}{d\tau} = (G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - 3E(\tau)) C_4(\tau) - (G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - W_5 - 3E(\tau)) C_5(\tau) \quad (31)$$

де M_i - маса розчину в іому корпусі ВУ; G_o - витрата соку на ВУ; C_o - концентрація соку, що поступає на ВУ; W_i - випарена волога на іому корпусі ВУ, без врахування навантаження на вакуум-апарати 1 кристалізації. $E(\tau)$ - парове навантаження на ВУ вакуум-апаратами 1 кристалізації, (співвідношення (20-22)).

Система рівнянь (27-31) може бути проінтегрована за допомогою степеневих рядів відповідно до кожної стадії уварювання утфелю. Наприклад, для 1 корпусу ВУ концентрація соку на виході $C_1(\tau)$ для відповідних періодів запишеться як

$$C_1(\tau) = a_o + a_1 \tau + a_2 \tau^2 + \dots + a_n \tau^n, \text{ при } \tau \leq \tau_n, \quad (32)$$

$$C_1(\tau) = A_0 + A_1(\tau - \tau_n) + A_2(\tau - \tau_n)^2 + \dots + A_n(\tau - \tau_n)^n, \text{ при } \tau_n \leq \tau \leq \tau_k, \quad (33)$$

$$C_1(\tau) = \alpha_0 + \alpha_1(\tau - \tau_k) + \alpha_2(\tau - \tau_k)^2 + \dots + \alpha_n(\tau - \tau_k)^n, \text{ для періоду } \tau_k \leq \tau \leq \tau_m. \quad (34)$$

Початкові умови:

$$C_1(0) = C_0 \frac{G_0}{G_0 - W_1}, \quad (35)$$

$$C_1(\tau_n) = a_0 + \sum_1^i a_i (\tau_n)^i, \quad (36)$$

$$C_1(\tau_k) = A_0 + \sum_1^i A_i (\tau_k - \tau_n)^i. \quad (37)$$

Підставивши (32-37) в (27-31) та порівнявши коефіцієнти при однакових степенях τ , $(\tau - \tau_n)$ та $(\tau - \tau_k)$, отримаємо залежність вихідної концентрації соку із 1 корпусу ВУ у вигляді (32-37). Аналогічно отримуються залежності для концентрації сиропу на виході із наступних корпусів ВУ $C_2(\tau)$, $C_3(\tau)$, $C_4(\tau)$, $C_5(\tau)$.

За умови двох одночасно працюючих вакуум-апаратів значення запишемо:

$$C_1(\tau) = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + \dots + a_n\tau^n, \text{ при } \tau \leq \tau_n: \quad (38)$$

$$C_1(\tau) = A_0 + A_1(\tau - \tau_n) + A_2(\tau - \tau_n)^2 + \dots + A_n(\tau - \tau_n)^n, \text{ при } \tau_n \leq \tau \leq \tau_m. \quad (39)$$

Початкові умови:

$$C_1(0) = C_0 \frac{G_0}{G_0 - W_1 - E_{cp}}, \quad (40)$$

$$C_1(\tau_n) = a_0 + \sum_1^i a_i (\tau_n)^i. \quad (41)$$

В результаті інтегрування системи (27-31, 24-25) для 1 періоду ($\tau \leq \tau_n$) п'ятикорпусної випарної установки. Коефіцієнти рядів, $a_1, a_2 \dots a_n, w_1, w_2 \dots w_n, s_1, s_2 \dots s_n, r_1, r_2 \dots r_n, p_1, p_2 \dots p_n$ відповідають коефіцієнтам рядів 42-44 та іншим. Відмінності мають місце лише для a_0, w_0, s_0, r_0, p_0 та комплексів b_{ij}, m_{ij}, K_{ij} .

В четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведені результати проведення обчислювального та фізичного експериментів по визначенню режимних параметрів роботи похилої дифузійної установки, виконано їх порівняння та перевірку адекватності математичної моделі (табл. 4).

Використовуючи підпрограми розрахунку, було проведено розрахунок величини кінцевої температури екстракційної речовини, кінцевої концентрації цукру в екстракційній речовині та представлено у таблицях 2 та 3. Розрахунки виконані для підприємства потужністю 2400 т буряка за добу, дигестії буряка 17,4 %, початкової температури екстракційної речовини 70°C, температури нагрівної пари 115 °C.

Таблиця 2

Розрахункова величина кінцевої температури дифузійного соку
при початковій концентрації цукру в стружці 17,4%
та температури живильної води 70°C

Відбір дифузійного соку, % до маси буряка	Початкова температура стружки, °C			
	0	10	15	20
105	7,885	16,987	21,538	26,09
110	13,271	21,615	25,787	29,959
115	17,803	25,511	29,364	33,218
120	21,734	28,891	32,469	36,047
125	25,155	31,834	35,173	38,513
130	28,098	34,368	37,502	40,637
135	30,777	36,674	39,623	42,572
140	33,143	38,713	41,499	44,284
145	35,202	40,489	43,133	45,777
150	37,139	42,161	44,672	47,182

Таблиця 3

Розрахункові величини кінцевої концентрації цукру в дифузійному соці при
початковій концентрації цукру в стружці 17,4%
та температури живильної води 70°C

Відбір дифузійного соку, % до маси буряка	Початкова температура стружки, °C			
	0	10	15	20
105	16,433	16,45	16,483	16,499
110	15,897	15,911	15,938	15,951
115	15,351	15,362	15,382	15,392
120	14,812	14,82	14,835	14,842
125	14,291	14,296	14,306	14,311
130	13,794	13,797	13,805	13,808
135	13,324	13,326	13,332	13,334
140	12,881	12,883	12,887	12,889
145	12,466	12,467	12,47	12,472
150	12,074	12,076	12,078	12,079

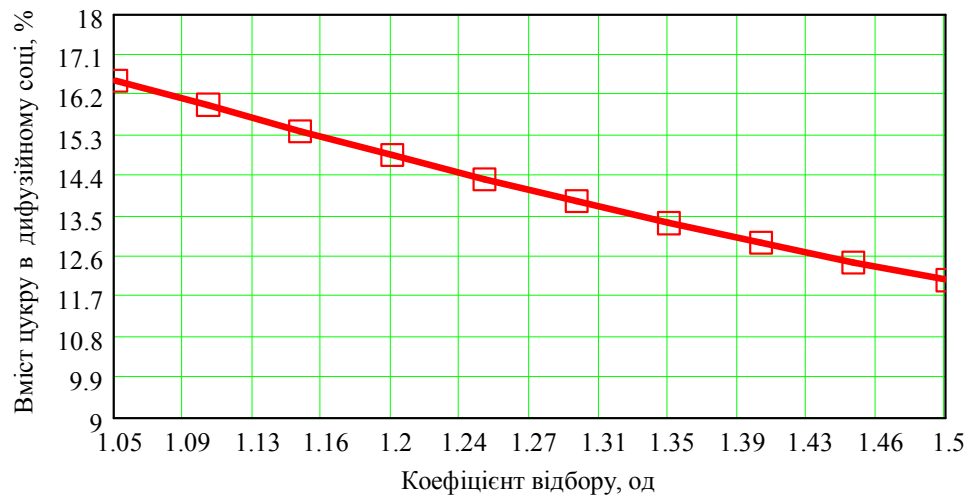


Рис. 5. Графік розподілу кінцевої концентрації цукру в дифузійному соці при початковій температурі стружки 20°C та при початковій концентрації цукру в стружці 17,4% та температури живильної води 70°C

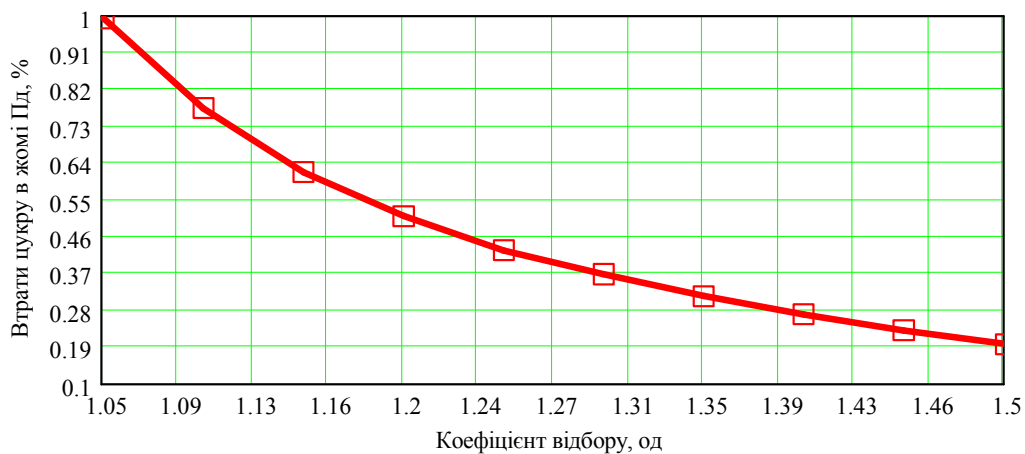


Рис. 6. Графік розподілу кінцевої концентрації цукру в жомі при початковій температурі стружки 20°C та при початковій концентрації цукру в стружці 17,4% та температури живильної води 70°C

Таблиця 4

Результати порівняння фізичного та чисельного експериментів по визначенню температури дифузійного соку $t_{д.с}$

№ п/п	Параметри	№ вимірювання									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Експериментальне значення температури дифузійного соку, °С	26,70	26,80	26,20	26,80	26,60	28,20	26,60	29,20	27,80	27,90
2	Розрахункове значення температури дифузійного соку, °С	27,80	27,81	27,81	27,78	27,81	27,81	27,79	27,83	27,80	27,79
3	Абсолютна похибка Δ , °С	1,10	1,01	1,61	0,98	1,21	0,39	1,19	1,37	0	0,11
4	Відносна похибка δ , %	4,11	3,77	6,15	3,66	4,55	1,40	4,47	4,92	0	0,40

В даному розділі також представлено результати експериментальних досліджень по визначенню витрати пари на вакуум-апарат, результати визначення показників (коефіцієнтів та поправок) математичної моделі (табл. 5)

Таблиця 5

Результати визначення коефіцієнтів та поправок для вакуум-апарата 1 продукту місткістю 40 тонн утфеля

№ п/п	№ періоду	Коефіцієнт k_j	Поправка b_j
1	Перший період	0,041	7,218
2	Другий період	-0,085	11,1
3	Третій період	-0,016	5,3
4	Четвертий період	-0,041	7,3

На рис. 7 зображені графіки зміни витрати пари на вакуум-апарат 1 продукта протягом циклу, що були визначені авторами для ВАЦМ-40, М.Л. Вайсманом для вакуум-апарата «Проток» та В.Н. Усиченком для вакуум-апарата БМА-50 (50 т утфеля) для різних початкових концентрацій.

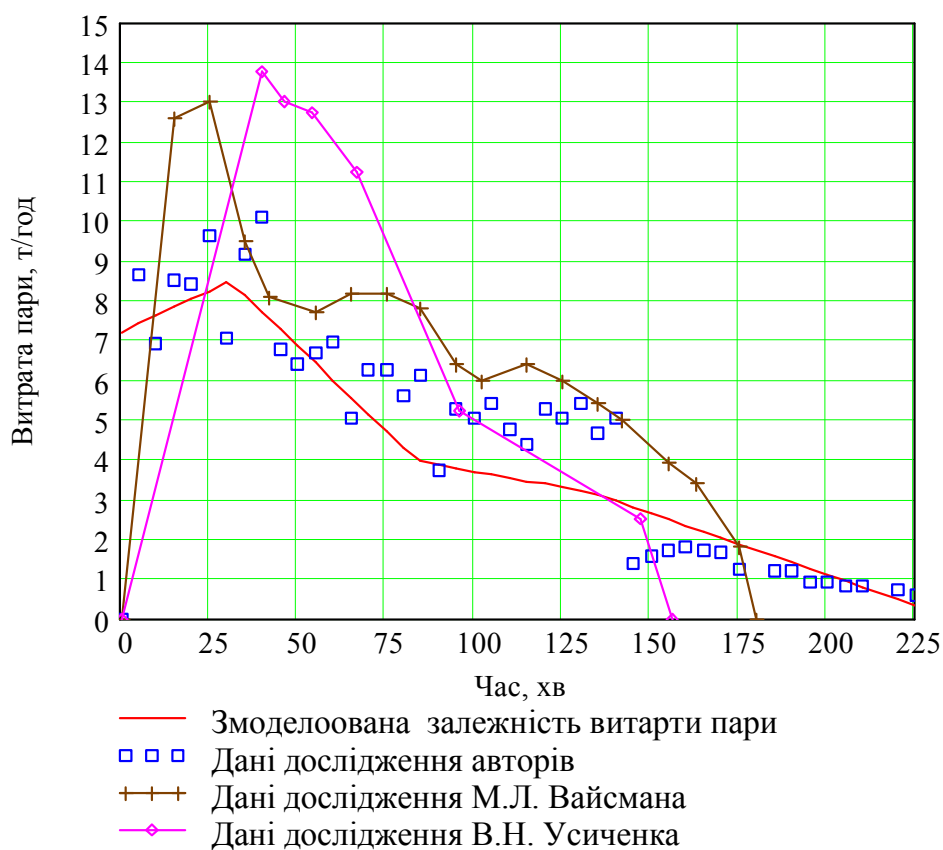


Рис.7. Графіки зміни витрати пари протягом циклу варіння утфеля I продукту

В даному розділі представлено результати обчислювального експерименту по визначенню концентрації сиропу після корпусів випарної установки при різних збуреннях (рис.8-9).

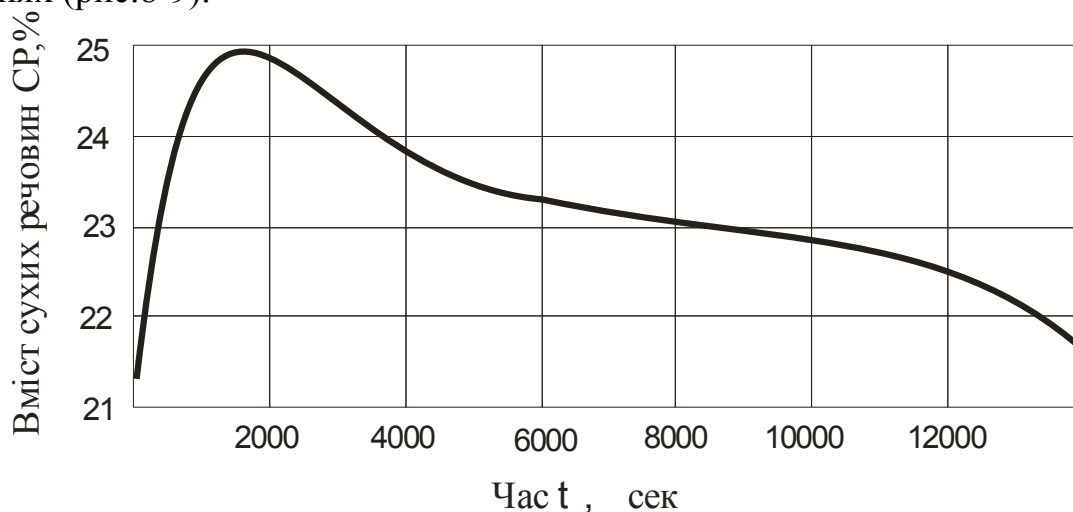


Рис 8. Графік залежності вихідної концентрації сиропу з 1 корпусу ВУ, розрахованої за (32-34), як відгук на пароспоживання вакуум-апаратом 1 кристалізації у формі (20-22).

На рис.10 надана графічна інтерпретація отриманих результатів за умови споживання пари 3 корпусу ВУ та одночасній роботі двох вакуум-апаратів, зміщених по фазі на половину циклу.

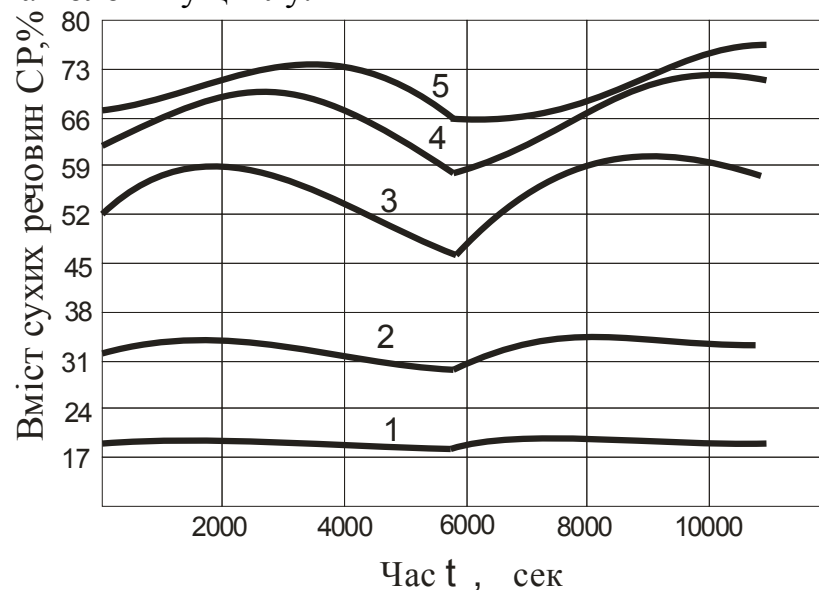


Рис.9. Результати розрахунку вихідних концентрацій соку по корпусам ВУ при роботі двох вакуум-апаратів за 1 цикл.

1 – $C_1(\tau)$; 2 – $C_2(\tau)$; 3 – $C_3(\tau)$; 4 – $C_4(\tau)$; 5 – $C_5(\tau)$

Висновки

1. Розроблена методика розрахунку дифузійного відділення (математична модель) дозволяє визначати температуру дифузійного соку; вмісту цукру в дифузійному соці; вмісту цукру в жомі; витрату пари на дифузійну установку в залежності від вихідних даних, а саме: вміст цукру в буряку (дигестія) D_g , вміст сухих речовин в нормальному соці $SR_{нс}$, чистота нормального соку $Ч_{нс}$, температура цукрового буряку $t_{бур}$, конструктивних особливостей дифузійного апарату; час перебування стружки в апараті τ , якості стружки (фінський фактор) l , чистота дифузійного соку $Ч_{дс}$, температура бурякової стружки $t_{стр}$.

2. Дана методика може бути використана для вивчення та моделювання тепломасообмінних процесів, конфігурації теплового обладнання на стадії його розроблення, а також для оптимального автоматичного керування обладнанням під час експлуатації

3. Вперше проведено експериментальне дослідження процесів тепло- та масообміну, які відбуваються у вакуум-апараті періодичної дії з вимушеною циркуляцією.

4. Визначено зміну режимних параметрів роботи вакуум-апарата протягом циклу уварювання. Встановлено, що зміна витрати пари на уварювання утфеля у вакуум-апараті з вимушеною циркуляцією подібна кривій витрати пари на вакуум-апарат з природною циркуляцією.

5. Час роботи вакуум-апарата періодичної дії з вимушеною циркуляцією близький до часу роботи вакуум-апарата з природною циркуляцією і становить 225 хв, але при цьому варіння утфелю проводиться з використанням цукрового сиропу з клеровкою більшої концентрацією сухих речовин (68-72 %).

6. Внаслідок узагальнення отриманих результатів визначено чотири характерних періоди споживання пари вакуум-апаратом. Знайдено аналітичні залежності для визначення витрати пари в i -тий момент часу циклу уварювання утфеля 1 кристалізації.

7. Отримані результати можуть бути використанні при розробці алгоритму управління системи регулювання вакуум-апаратом, при розрахунках теплових схем цукрових заводів, для математичного моделювання випарної установки.

8. Зі збільшенням потужності цукрових заводів i , відповідно, кількості одночасно працюючих вакуум-апаратів 1 кристалізації амплітуда коливань концентрації сиропу після ВУ зменшується, оскільки падає відносний пік навантаження E_m у порівнянні з середнім, E_{cp} .

9. В разі споживання вакуум-апаратами вторинної пари 2 корпусу ВУ, концентраційні піки стають меншими і проблем з регулюванням ВУ не виникає. У разі ж споживання пари із 4, або навіть із 5 корпусу ВУ концентраційні піки стають настільки відчутними, що створюють проблеми в регулюванні випарною установкою.

10. Час наростання пікової концентрації на останньому корпусі ВУ залежить від ємності випарних апаратів, і для заводів малої відносної продуктивності, коли варка утфелю здійснюється лише одним вакуум-апаратом за один цикл, може перевищувати 1,5 години.

Список праць, опублікованих за темою дисертації

1. Бойко В.О., Масліков М.О. Моделювання теплотехнологічного комплексу Згурівського цукрового заводу. – Програма і тези доповідей 66-ї студентської наукової конференції, 18-20 квітня 2000 р. – У 2 ч. – К.: УДУХТ, 2000. – Ч. 2 – 109 с. – с.43;

2. Бойко В.О., Масліков М.О. “Оптимизационное моделирование элементов комплекса сахарного завода”. – V Międzynarodowe Sympozjum Studenckich Kol Naukowych, 15 – 16 травня 2000 р., – Lublin: Politechnika Lubelska, 2000р. – с. 150;

3. Бойко В.О., Масліков М.О. Оптимізаційне моделювання випарної установки. Програма і матеріали 67-ї наукової конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, 24-25 квітня 2001 р. – У 2 ч. – К: УДУХТ, 2001. – Ч. 2 – 152 с. – с.87;

4. Масліков М.О., В.П. Петренко, Бойко В.О., Дубінчук О.В. Модель багатокорпусної випарної установки цукробурякового виробництва. – Наукові праці УДУХТ., № 10 - 2001 р.;

5. Бойко В.О., Масліков М.О. Оптимізаційне моделювання багатокорпусної випарної установки цукробурякового виробництва. – Програма і матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні методи створення технологій та обладнання в харчовій промисловості», 23-25 квітня 2002 р. – У 2 ч. – К: НУХТ, 2002. – Ч. II. – 140 с. – с. 85

6. Пономаренко О.А, Бойко В.О., Масліков М.О. Визначення залежності витрати пари на вакуум-апарат 1 кристалізації з метою математичного моделювання кристалізаційного відділення. – Тези доповідей 69^ї наукової

конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 24 – 26 квітня 2003 р., – К.: НУХТ, 2003р. – с. 65;

7. Бойко В.О., Іщенко О. О., Масліков М. О., Прядко М.О. Уточнення методики теплового розрахунку дифузійної установки неперервної дії. - Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, 20-21 жовтня 2003 р., – К.: НУХТ, 2003р. – с. 62;

8. Бойко В.О., Масліков М.О. Методика розрахунку оптимальної відкачки дифузійного соку бурякоцукрового виробництв. – Тези доповідей 70^ї наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 24 – 26 квітня 2004 р., – К.: НУХТ, 2004р. – с. 84.

9. Бойко В.О., Масліков М.О. Математичне моделювання похилої дифузійної установки. – Програма і матеріали 71-ї наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 18-19 квітня 2005 р. – К.: НУХТ, 2005. – Ч. 2. - 129.- с.87

10. Бойко В.О., Масліков М.О. Про визначення витрати пари на вакуум-апарат. Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи», 17-19 жовтня 2005 р. – У 2 ч. – К.: НУХТ, 2005. – Ч.ІІ. – 77 с. – с. 58-89.

11. С.М. Самійленко, Бойко В.О., С.М. Василенко Математичне моделювання кристалізації утфеля ІІІ-продукту на базі вертикальних кристалізаторів. – Тези доповідей 72^ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 17 –18 квітня 2006 р., – К.: НУХТ, 2006р. – с. 92.

12. Бойко В.О., Масліков М.О., Прядко М.О. Визначення концентрації і температури дифузійного соку – Наукові праці НУХТ. - Київ. – 2006. - № 18. – с. 86-89.

13. Кухар В.Н., Лысюк П.И, А.К. Сущенко, А.Ф. Кравчук, А.П. Чернявський, В.А. Потельчак, М.М. Корниенко, С.М. Василенко, В.А. Бойко, Л.И Чернявська, В.П. Адамович. Вакуум-апараты с циркуляторами: оптимизация теплоснабжения, уменьшение качества готовой продукции.- Сахар.-2006-№7. – с.48-52;

14. Василенко С.М. Бойко В.А. и др. Вакуум-апараты с циркуляторами: уменьшение расхода топливно-энергетических ресурсов.- Сахар.-2006-№10. – с.40-42

15. М.М. Кондратенко, В.О. Бойко, М.О. Масліков Моделювання дифузійної установки колонного типу. – Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: Програма і матеріали 73-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 23 –24 квітня 2007 р. – К.: НУХТ, 2007р. – Ч.ІІ. – 151 с. - с. 100.

16. Кухар В.М., Лысюк П.И, Сущенко А. К., Чернявський О.П., Корниенко М.М., Василенко С.М., Бойко В.А, Чернявська Л. І., Адамович В. П., Савченко М. В., Скобель Л.В. Досвід впровадження вакуум-апаратів з циркуляторами. - Цукор України.-2007-№2 (51).-с 32-36.

17. С.М. Самійленко, В.О. Бойко, С.М. Василенко. Оптимізація підігрівників в структурі теплотехнологічного комплексу цукрового заводу. – Програма і матеріали 74-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 21-22 квітня 2008 р. – К.: НУХТ, 2008. – 390.- с.324

18. Є.А. Моцний, В.О. Бойко, М.О Масліков. Визначення залежності витрати пари на в/а 1 продукту з метою математичного моделювання кристалізаційного відділення. – Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI ст.: Тези доп. 75-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 13-14 квіт. 2009 р. – К.: НУХТ, 2009. – Ч.3. – С.274-386. – с.323

19. О.Ю. Якобчук, В.О. Бойко, М.О Масліков. Аналіз впливу режимних параметрів роботи похилого шнекового дифузійного апарату цукрового виробництва на показники екстракції. – Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI ст.: Тези доп. 75-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, 13-14 квіт. 2009 р. – К.: НУХТ, 2009. – Ч.3. – С.274-386. – с.323

20. І.В. Танцюра, В.О. Бойко, М.О. Масліков Перевірка адекватності моделі похилого дифузійного апарата для визначення основних показників екстракції. – Програма і матеріали 76-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 12-13 квітня 2010 р. – Частина. III – К.: НУХТ, 2010. – 135с. – с.57

21. В.О. Бойко, М.О. Масліков Перевірка адекватності моделі похилого дифузійного апарата для визначення основних показників екстракції. – Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи: Тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 вересня 2010 р. – Частина 2 – К.: НУХТ, 2010. – 114с. – с.11

22. В.О. Бойко, М.О.Масліков, В.П. Петренко, М.О. Прядко, Є.А. Моцний Експериментальне визначення теплотехнічних показників роботи вакуум-апаратів 1-го продукта періодичної дії з механічними циркуляторами. – Цукор України.-2010-№2(58).-с 45-48;

23. М.О. Масліков, М.О. Прядко, В.О. Бойко Аналіз результатів дослідження процесу уварювання утфелю у вакуум-апаратах з механічним циркуляторами. – Матеріали науково-технічної конференції цукровиків України «Цукровий бізнес в умовах національного та світового ринку», – К.: Цукор України, 2010. -226. - с.147-149;

24. В.П. Петренко, М.О. Прядко, В.О. Бойко Моделювання впливу нерівномірності споживання пари вакуум-апаратами на роботу випарної установки. – Цукор України.-2011-№12(72).-с 24-30

25. В.О. Бойко, В.П. Петренко Моделювання впливу величини споживання пари вакуум-апаратами на роботу випарної установки. – Програма і матеріали 78-ї міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 2-3 квітня 2012 р. – К.: НУХТ, 2012. – Ч.2. – 448с. – с.194-196.

АНОТАЦІЯ

Бойко В. О. Моделювання елементів теплотехнологічного комплексу цукрового виробництва. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06. – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика – Національний університет харчових технологій, Київ, 2012.

Дисертація присвячена питанням математичного моделювання елементів теплотехнологічного комплексу цукрового виробництва.

Виділено чинники впливу на процес тепломасообміну між буряковою стружкою та екстракційною речовиною, запропоновано методику визначення концентрації і температури бурякової стружки та дифузійного соку для похилого дифузійного апарату.

Розроблена методика може бути використана для вивчення та моделювання тепломасообмінних процесів, конфігурації теплового обладнання на стадії його розроблення, а також для оптимального автоматичного керування обладнанням під час експлуатації.

Визначено залежність витрати пари на вакуум-апарати періодичної дії з механічними циркулярами, встановлено чотири характерних періоди споживання пари, розраховано лінійні залежності споживання гріючої пари.

Надані результати моделювання проходження концентраційних хвиль по корпусам випарної установки, як відгук на періодичний характер споживання пари вакуум-апаратами. Отримані відповідні розрахункові залежності, надана графічна інтерпретація результатів.

Ключові слова: теплообміні і масообміні процеси, екстракція, дифузія, бурякова стружка, температура, екстрагент, кристалізація, вакуум-апарат, циркуляція, витрата пари, моделі, випарна установка, концентрація, математична модель.

АННОТАЦИЯ

Бойко В. А. Моделирование элементов теплотехнологического комплекса сахарного производства. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.14.06. – техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2012.

Диссертация посвящена вопросам математического моделирования элементов теплотехнологического комплекса сахарного производства.

Выделено факторы влияния на процесс тепломассообмена между сахарной стружкой и экстракционным веществом, предложено методику определения концентрации и температуры свекловичной стружки и диффузионного сока для наклонного диффузионного аппарата.

Разработанная методика может быть использована для изучения и моделирования тепломассообменных процессов, конфигурации теплового оборудования на стадии его разработки, а также для оптимального автоматического управления оборудованием во время эксплуатации.

Определено зависимость расхода пара на вакуум-аппараты периодического действия с механическими циркулярами, установлено четыре характерных периоды потребления пара, просчитано линейные зависимости потребления греющего пара.

Представлены результаты моделирования прохождения концентрационных волн по корпусам выпарной установки, как отклик на периодический характер потребления пара вакуум-аппаратами. Получены соответствующие расчетные зависимости, представлена графическая интерпретация результатов.

Ключевые слова: теплообменные и массообменные процессы, экстракция, диффузия, свекловичная стружка, температура, экстрагент, кристаллизация, вакуум-аппарат, циркуляция, расход пара, модели, выпарная установка, концентрация, математическая модель.

THE SUMMARY

Boyko V. O. Modeling of the elements of heating engineering complex of sugar production. – Manusript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical science on a specialty 05.14.06. – technical thermo physic industrial heat-and-power engineering. – National university of food technologies, Kyiv, 2012.

Dissertation is devoted to the questions of the modeling of the elements of heating engineering complex of sugar production.

The factors of influence are selected on the process of heat exchange and mass-transfer between the beet shaving and extraction matter, the method of determination of concentration and temperature of the beet shaving and diffusive juice is offered for a sloping diffusive vehicle.

Dependence of the flow of steam of batch-type vacuum pans equipped with mechanical circulator first product are defined, four characteristic periods of flow of steam are set, linear dependences of flow steam are calculated.

The results of the concentration waves passage modeling through the stages of a multieffect evaporator as a response to the periodic character of the extra steam consumption of the vacuum pans have been presented. Respective calculation relations were obtained, the graphical interpretation of the results is given.

Key words: heat exchange and mass-transfer processes, extraction, diffusion, beet shaving, temperature, extract, crystallization, vacuum pan, circulation, flow of steam, models, multieffect evaporator, concentration, mathematic model.