



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

30

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Харчова
ПРОМИСЛОВІСТЬ

Заснований у 1965 р.

Київ НУХТ 2021

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ

Сировина та матеріали

Ющенко Н. М., Савицька А. О., Чернова В. Д., Новіков В. В., Плуца В. В. Розробка рецептур та визначення показників якості аюрведичних желейних виробів на основі плодово-ягідної сировини з прянощами

Дорожинська О. С., Кохан О. О. Зміна якості неглазурованих цукерок кристалічної структури на основі комбінації цукрів лактози та фруктози протягом їх зберігання

Технології: дослідження, застосування та впровадження

Масліков М. О., Масліков М. М., Петренко В. П., Бойко В. О. Визначення впливу відбору соку у дифузійних апаратах на прибутковість бурякоцукрового виробництва

Демидова А. О., Шеманська Є. І. Одоруючі речовини рослинних олій і методи їх вилучення

Бублієнко Н. О., Семенова О. І. Біологічна утилізація бурякового жому з використанням метанової ферментації

Камбулова Ю. В., Кохан О. О., Олексієнко Н. В., Ворочек Д. В., Щирська О. С. Удосконалення технології органічної фруктової пастили функціонального спрямування

Авраменко А. Д., Грабовська О. В. Використання резистентного крохмалю у технології кексів функціонального призначення

Белінська К. О., Фалендиш Н. О. Безпека і мікробіологічна чистота сухого кобилячого та овечого молока для виробництва дитячого харчування

РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Процеси харчових виробництв

Гапонюк І. І. Виробничі дослідження камерних апаратів сушіння зерна, виготовлених у США

Туфєкчі В. І., Вересоцький Ю. І. Дослідження верхнього жалюзійного розподілення теплоносія та визначення ефективних параметрів сушіння в комплексах розпилювального типу

Пакування: розробка, дослідження, переробка

Кривопляс-Володіна Л. О., Деренівська А. В., Масло М. А., Володін О. С. Оптимізація робочих режимів позиційного пневмоприводу пакувальної машини

CONTENTS

SECTION 1. TECHNOLOGY

Raw Materials and Materials

7 Yushchenko N., Chernova V., Savitskaya A., Novikov V., Plyuta V. Development of recipes and determination of quality indicators of ayurvedic jelly products on the basis of natural fruit and berry raw materials

18 Dorozhynska O., Kokhan O. Changing the quality of unglazed candies with a crystalline structure based on a combination of lactose and fructose sugars during storage

Technologies: Researches, Application and Introduction

29 Maslikov M., Maslikov M., Petrenko V., Boiko V. Determination of the influence of raw juice draft in extractors on the profitability of beet-sugar production

41 Demydova A., Shemanska Y. Additive substances of vegetable oils and methods for their exposure

50 Bublivenko N., Semenova O. Biological utilization of beet pulp with the use of methane fermentation

58 Kambulova Yu., Kokhan O., Oleksienko N., Vorochek D., Shchyrskaya O. Improvement of the technology of organic fruit functional paste

66 Avramenko A., Hrabovska O. Use of resistant starch in functional cake technology

78 Belinska K., Falendysh N. Safety and microbiological purity of powder of may and sheep milk for production of baby nutrition

SECTION 2. PROCESSES AND EQUIPMENT

Processes of Food Industries

87 Gaponjuk I. Production research of US-made chamber grain dryers

96 Tufekchi V., Veresotskiy Y. Investigation of the upper louver distribution of the heat carrier and determination of effective parameters of drying in complexes of spray type

Packing: Development, Researches, Processing

110 Kryvoplias-Volodina L., Derenivska A., Maslo N., Volodin O. Optimization of operating modes of positional pneumatic drive of packaging machine

УДК 664.1.033

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF RAW JUICE DRAFT IN EXTRACTORS ON THE PROFITABILITY OF BEET-SUGAR PRODUCTION

M. Maslikov, M. Maslikov, V. Petrenko, V. Boiko

*National University of Food Technologies***Key words:**

extractor,
mass transfer,
sugar losses,
raw juice draft

Article history:

Received 09.11.2021
Received in revised form
12.11.2021
Accepted 19.11.2021

Corresponding author:
mmaslikov@gmail.com

ABSTRACT

Increase in water supply for extraction with a corresponding increase in raw juice draft is the main method to reduce sugar losses in the pulp. But this method has negative effects: reducing of sucrose crystallization efficiency, increasing costs for juice purification, heating and concentrating. Total profitability from draft increasing may increase or decrease, so we can discuss the optimal draft value. In this article, mathematical model is developed to calculate the optimal draft value for minimization the total operating costs. This model calculates the sugar losses in the pulp with equation, obtained the updated data on mass transfer during sugar extraction from beet cassettes. Mass transfer in the extractor between beet chips and extractant is analyzed with using the mass conductivity coefficient in solid phase systems. The proposed model also takes into account the presence of pulp pressing and returning the required amount of pulp water to the extractor.

Factors influencing the efficiency of sucrose extraction are analyzed: sugar loss in the pulp, transition of sucrose to white sugar and to molasses, as well as transition of non-sugars to raw juice. The main technical and economic indicators are determined, which are significantly affected by the changes in draft.

Computer model, based in expected profit of beet sugar production, is developed to calculate the optimal draft value and the optimal sugar losses in the pulp for certain conditions. This model allows to predict the profitability of beet sugar production depending on the conditions of the manufacturing processes and on the prices for goods that affect income and expenses. Examples of calculations of the optimal draft and the expected change in profitability are presented.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-5

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІДБОРУ СОКУ У ДИФУЗІЙНИХ АПАРАТАХ НА ПРИБУТКОВІСТЬ БУРЯКОЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

М. О. Масліков, канд. техн. наук

М. М. Масліков, канд. техн. наук

В. П. Петренко, д-р техн. наук

В. О. Бойко, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведені результати визначення впливу відбору соку у дифузійних апаратах на прибутковість бурякоцукрового виробництва. Виконано аналіз чинників, що впливають на ефективність висолоджування бурякової стружки, втрати цукрози в жомі, перехід у сік нецукристих речовин, а також цукрози в білий цукор і мелясу. Розроблено модель процесу та програму розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку. За критерій оптимізації прийнято очікувану зміну прибутку виробництва цукру. Ця модель дає змогу прогнозувати прибутковість виробництва цукру з буряка залежно від умов виробництва і кон'юнктури цін на товари, що впливають на доходи і видатки виробництва. Наведені приклади розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку й очікуваної зміни прибутковості.

Ключові слова: екстракція, масообмін, втрати цукру, коефіцієнт відбору.

Постановка проблеми. Важливою проблемою бурякоцукрового виробництва є зменшення втрат цукрози. Найвагомішою є втрата під час екстрагування бурякової стружки у дифузійній установці, тобто та частина цукрози, що залишається в жомі. Вона характеризує ефективність екстракції, впливаючи на вихід товарного цукру і прибутковість його виробництва. Основним засобом зменшення зазначеної втрати вважалось додаткове вилучення цукрози внаслідок збільшення відбору дифузійного соку. Але це рішення має негативні наслідки, зокрема:

- знижується енергоефективність виробництва цукру, бо зменшення концентрації сухих речовин і збільшення витрати дифузійного соку підвищують потреби в енергії на його перекачування, нагрівання та концентрування;

- разом з цукрозою додатково вилучаються нецукристі речовини, що збільшує видатки на очищення продуктів виробництва, погіршує кристалізацію цукрози і сприяє переходу цукрози у мелясу.

Отже, існує оптимальне значення відбору дифузійного соку і відповідна величина втрати цукрози у жомі, визначення яких дозволяє забезпечити виробництво цукру з максимальною прибутковістю.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Світова тенденція підвищення ефективності екстракції бурякоцукрового виробництва полягає в експлуатації дифузійних апаратів за низьких відборів дифузійного соку високої чистоти [1]. Це досягається збільшенням часу екстракції, глибоким пресуванням жому і використанням для екстракції жомопресової води. Це дозволяє вилучити до 98% вмісту цукрози та зменшує споживання енергії.

Аналіз роботи заводів Schweizer Zucker AG у Фрауенфельді і Аарбергу з 2000 до 2014 року [2], де експлуатуються дифузійні апарати ВМА, показав, що після встановлення апаратів з вищими колонами, де час перебування стружки довший, відбір соку зменшився з 109—110% до 102%, а втрати цукрози у жомі — з 0,36—

0,43% до 0,28%. При цьому збільшився вихід цукру і зменшилося споживання енергії з 1132 до 1043 кВт·год/т цукру.

Втрати цукрози в жомі залежно від величини відбору дифузійного соку розраховують, користуючись відомим рівнянням, яке отримане вченими ВНДЦП [3] на основі універсального рівняння процесу дифузії.

Важливо знати, як розподіляється додатково екстрагована цукроза між білим цукром і мелясою, бо це впливає на техніко-економічні показники виробництва. Ф. Т. Тешнер [4], узагальнивши дослідні дані цього розподілу, отримав рівняння для розрахунку вмісту цукрози в мелясі залежно від ступеня висолоджування.

У [5] наведені залежності для оцінювання виробничих показників роботи цукрового виробництва за зміни відбору дифузійного соку. За їх допомогою визначені показники виробництва при зміні цього показника від 120% до 135% і наведені графіки впливу відбору на додаткову економію при зменшенні втрат цукрози у жомі.

Автори [6] запропонували оптимізаційну математичну модель для прогнозування роботи колонного дифузійного апарата у стаціонарному режимі. Модель визначає оптимальні значення втрати цукрози в жомі та властивостей дифузійного соку. Параметрами, що регулюються, є: відбір соку, час перебування чи довжина колони. Цільовою функцією, що мінімізується, є сумарні видатки на екстракцію, які включають вартості: колони; цукру, втраченого з жомом; пари для випарювання води з соку.

Автори [7] для комплексної кількісної оцінки різних типів дифузійних установок використали техніко-економічне моделювання процесів. За цільову функцію вони вибрали видатки виробництва, пов'язані з втратами цукрози у жомі, з мелясою, з витратою теплоти на дифузійний апарат, підігрівання соку до випарної установки, випарювання соку на випарній установці, з витратою вапнякового молока на очищення дифузійного соку, а також з витратою електроенергії на роботу основного обладнання і перекачування соку.

Втрати цукрози у жомі залежать від інтенсивності масообміну між буряковою стружкою й екстрагентом. Автори [8] доводять, що точніше описує цей процес механізм масообміну в системах з твердою фазою (утруднена дифузія), обґрунтовуючи використання для розрахунку втрат коефіцієнта масопровідності k_m .

У [9] запропоновано визначати ефективність роботи дифузійної установки у залежності не тільки від інтенсивності теплових, гідродинамічних і хімічних процесів, що відбуваються під час екстракції, а й від техніко-економічних показників. Також була розроблена модель і комп'ютерна програма «Провід» [10], яка дозволяє розраховувати значення оптимального відбору дифузійного соку і додаткову економію при переході на роботу з цим відбором.

Оскільки отримані нові дані про механізм екстракції у дифузійних апаратах, модель процесу потребує розвитку й уточнення.

Мета дослідження: розробити модель екстракції у дифузійних апаратах та програму розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку і втрати цукрози в жомі, що забезпечують максимальну прибутковість за різних інтенсивностей теплових, гідродинамічних і хімічних процесів, ринкових цін на продукцію цукрового виробництва, енергоносії та вапняковий камінь.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є дифузійна установка бурякоцукрового виробництва. Встановлено чинники, що впливають на втрати цукрози в жомі та відбір соку, та отримано залежності для їх розрахунку. Створено математичну

модель об'єкта і програму розрахунку оптимального значення відбору дифузійного соку і втрати цукрози у жомі для різних умов виробництва.

Результати дослідження. Для визначення оптимального відбору дифузійного соку необхідно знати розподіл додатково вилученої цукрози між білим цукром і мелясою та оцінити ефективність зміни величини відбору з урахуванням отриманого розподілу цукрози і додаткової витрати палива на нагрівання і випаровування продуктів.

Для визначення кількості додатково вилученої цукрози, що перейшла у мелясу, скористаємося рекомендацією [5]:

$$\Delta CX_M(\alpha_{дс1}) = \left\{ [D\Gamma - X_{бд} - X_1(\alpha_{дс1})] \cdot \frac{1 - \chi_{21}(\alpha_{дс1})}{\chi_{21}(\alpha_{дс1})} - (D\Gamma - X_{бд} - X_0) \times \dots \right. \\ \left. \dots \times \frac{1 - \chi_{21}}{\chi_{21}} \right\} \cdot \frac{\chi_M}{1 - \chi_M}, \quad (1)$$

де $D\Gamma$ — вміст цукрози у буряковій стружці, %; $X_{бд}$ — втрати цукрози у виробництві після дифузійної установки до меляси, %; $X_1(\alpha_{дс1})$ — величина втрат цукрози в жомі за зміни коефіцієнта відбору дифузійного соку, %; $\chi_M, \chi_{21}(\alpha_{дс1})$ — чистота, відповідно, меляси і соку 2-ї сатурації при висолоджуванні бурякової стружки до втрат X_1 після зміни коефіцієнта відбору до $\alpha_{дс1}$, %:

$$\chi_{21}(\alpha_{дс1}) = \frac{\chi_{2сф} + X_0 - X_1(\alpha_{дс1})}{\chi_{2сф} + \frac{(X_0 - X_1(\alpha_{дс1}))^2}{f(\alpha_{дс1})}}, \quad (2)$$

де $\chi_{2сф}$ — вміст цукрози у соці 2-ї сатурації за втрат X_0 тобто до зміни коефіцієнта відбору до $\alpha_{дс1}$, %; $f(\alpha_{дс1})$ — інтеграл Тешнера [4], що дозволяє визначити середню чистоту соку 2-ї сатурації, отриманого з дифузійного соку під час висолоджування стружки у діапазоні втрат $X_0 \dots X_1$:

$$f(\alpha_{дс1}) = -0,492 [X_0^5 - X_1(\alpha_{дс1})^5] + 4,45 [X_0^4 - X_1(\alpha_{дс1})^4] - 16,233 [X_0^3 - \dots \\ \dots - X_1(\alpha_{дс1})^3] + 31,85 [X_0^2 - X_1(\alpha_{дс1})^2] + 54,3 [X_0 - X_1(\alpha_{дс1})]. \quad (3)$$

Втрати цукрози у жомі за зміни величини відбору дифузійного соку пропонуємо визначати за рівнянням, отриманим на основі перетвореного універсального рівняння процесу дифузії [3]. Новизна рівняння полягає у врахуванні уточнених даних щодо масопровідності під час екстракції цукрози з бурякової стружки [8] та впливу на інтенсивність процесу додаткових чинників: чистоти клітинного соку; структури стружки; нелінійності масовіддачі від довжини ста грамів бурякової стружки; тривалості екстракції. Рівняння враховує також пресування жому та повернення у дифузійний апарат для екстракції потрібної кількості жомпресової води:

$$X_1(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{19 \left[1 - \frac{n_{\text{ж}} \cdot k_{\text{жв}} \cdot m_{\text{жв}}}{(m_{\text{жв}} + m_{\text{ж}}) \cdot \beta_0} \right] \cdot \text{Дг}^2 \cdot (\alpha_{\text{дс1}} - \beta_0)}{\left(\alpha_{\text{дс1}} - n_{\text{ж}} \cdot k_{\text{жв}} \cdot m_{\text{жв}} \cdot \beta_0 \right) \cdot e^{\frac{35,5 \cdot \varphi \cdot k_{\text{м}} \cdot t_{\text{диф}}}{R^2 \cdot \alpha_{\text{дс1}} \cdot t_{\text{диф}}}} - \beta_0 + n_{\text{ж}} \cdot k_{\text{жв}} \cdot m_{\text{жв}} \cdot \beta_0}$$

де $n_{\text{ж}}$ — ознака пресування жому; $m_{\text{ж}}$ — вихід жому, %;

$$m_{\text{ж}} = \frac{m_{\text{м}} + X_0 + a_{\text{д}} \cdot \text{НЦ}_{\text{нс}}}{b_{\text{ж1}}}, \quad (5)$$

де $a_{\text{д}}$ — кількість нецукрів, що залишилися у жомі, % від вмісту розчинних нецукрів; $\text{НЦ}_{\text{нс}}$ — вміст розчинних нецукрів у нормальному соці, %:

$$\text{НЦ}_{\text{нс}} = \frac{(\text{Дг} - X_0 - X_{01})(1 - \text{Ч}_{\text{дс}})}{(1 - a_{\text{д}}) \cdot \text{Ч}_{\text{дс}}}; \quad (6)$$

де $k_{\text{жв}}$ — частина жомопресової води, що повертається у дифузійний апарат; $m_{\text{жв}}$ — вихід жомопресової води, %:

$$m_{\text{жв}} = \frac{m_{\text{ж}} (b_{\text{ж1}} - b_{\text{ж}})}{b_{\text{ж1}}}, \quad (7)$$

де $b_{\text{ж}}$, $b_{\text{ж1}}$ — концентрація сухих речовин у жомі, відповідно, до і після пресування, %; β_0 — вміст соку в буряках, %; φ — коефіцієнт використання дифузійного потоку; $k_{\text{м}}$ — коефіцієнт масопровідності (утрудненої дифузії) в системах з твердою фазою [8], м²/с:

$$k_{\text{м}} = D_t \cdot \varepsilon_{\text{ч}} \cdot \varepsilon_{\text{с}} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_{\text{т}}, \quad (8)$$

де D_t — коефіцієнт дифузії, м²/с:

$$D_t = e^{\frac{3,13 \text{ Дг} - 15,411 - \frac{1985,2 + 15,354 \cdot \text{Дг}}{T_{\text{диф}}}}}, \quad (9)$$

$T_{\text{диф}}$ — температура, за якої визначається коефіцієнт дифузії:

$$T_{\text{диф}} = t_{\text{диф}} + 273,1 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

$\varepsilon_{\text{ч}}$ — поправка на чистоту клітинного соку:

$$\varepsilon_{\text{ч}} = \text{Ч}_{\text{дс}}^{0,0422 \cdot \text{Дг}}, \quad (11)$$

де $\text{Ч}_{\text{дс}}$ — чистота дифузійного соку;

$\varepsilon_{\text{с}}$ — поправка, що характеризує структуру стружки, на яку впливають сорт і стиглість буряка, якість роботи ошпарювача тощо, $\varepsilon_{\text{с}} = 0,75$;

ε_l — поправка на нелінійність залежності масовіддачі від довжини l ста грамів бурякової стружки:

$$\varepsilon_l = \sqrt{2,3 - 1,3 \cdot \log l} ; \quad (12)$$

ε_τ — поправка на тривалість процесу екстракції:

$$\varepsilon_\tau = 1 - b(\ln \tau_0 - 1) \quad (13)$$

де b — коефіцієнт, що враховує якість буряку, конструктивні особливості і режим роботи дифузійної установки, для орієнтовних підрахунків $b = 0,0916$; τ_0 — час екстрагування, $\tau_0 = 3600$ с.

Кількість цукрози, висолодженої зі стружки додатково, %:

$$\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}) = X_0 - X_1(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (14)$$

Додаткова кількість цукрози, що перейшла у білий цукор, %:

$$\Delta CX_{\text{бц}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}) - \Delta CX_{\text{м}}(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (15)$$

Економічна оцінка впливу зміни відбору, грн [9]:

$$\begin{aligned} \text{Ек}(\alpha_{\text{дс1}}) = & [\Delta C_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{бц}} + \Delta M_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{м}} + \Delta J_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{ж}}] - \dots \\ & \dots - [\Delta \alpha_{\text{пу}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{уп}} + \Delta \alpha_{\text{п.вв}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{пв}} + \Delta BK(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{вк}}], \end{aligned} \quad (16)$$

де $\Delta C_{\text{т}}(\alpha)$, $\Delta M_{\text{т}}(\alpha)$, $\Delta J_{\text{т}}(\alpha)$ — зміни виходу, відповідно, товарного цукру, товарної меляси, жому; $\Delta \alpha_{\text{пу}}(\alpha)$, $\Delta \alpha_{\text{п.вв}}(\alpha)$, $\Delta BK(\alpha)$ — зміни витрат, відповідно, умовного палива, вапняку, палива для випалювання вапняку; $C_{\text{бц}}$, $C_{\text{м}}$, $C_{\text{ж}}$, $C_{\text{уп}}$, $C_{\text{п.вв}}$, $C_{\text{вк}}$ — ціни, відповідно, товарного цукру, товарної меляси, жому, умовного палива, палива для випалювання вапнякового каменю, вапняку.

Вміст сухих речовин у сульфітованому соці, отриманий за додаткового відбору, %:

$$\Delta \text{СР}_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{(\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}))^2}{f(\alpha_{\text{дс1}})}. \quad (17)$$

Додаткова витрата соку, що надходить на ВУ, %:

$$\Delta \alpha_{\text{сф}} = \Delta \alpha_{\text{дс}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \alpha_{\text{дс1}} - \alpha_{\text{дс}}. \quad (18)$$

Додаткова витрата вапна, необхідного на очищення соку, %:

$$\Delta \text{CaO}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{B \cdot C_{\text{в}} \cdot \Delta \alpha_{\text{дс}}(\alpha_{\text{дс1}})}{B - C_{\text{в}}}, \quad (19)$$

де B , $C_{\text{в}}$ — масовий вміст CaO , відповідно, у вапняковому молоці і у дефекованому соці, %.

Додаткова витрата води, що надходить у сік з вапняним молоком, %:

$$\Delta V_{\text{вм}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{\rho_{\text{вм}} \cdot r}{r} \cdot \Delta \text{CaO}(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (20)$$

де r — вміст CaO у вапняковому молоці, кг/л.

Витрата пари, необхідної для випаровування додаткової кількості води, %:

$$\Delta\alpha_{\text{п}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \left[\Delta\alpha_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}}) \left(1 - \frac{\Delta\text{CP}_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}})}{\text{CP}_{\text{у1}}} \right) + \Delta\text{B}_{\text{вм}}(\alpha_{\text{дс1}}) \right] \cdot \text{K}_{\text{ву}}, \quad (21)$$

де $\text{K}_{\text{ву}}$ — коефіцієнт кратності випаровування у випарній установці.

Додаткова витрата палива, %:

$$\Delta\alpha_{\text{пу}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{r_{\text{п}} \cdot \Delta\alpha_{\text{п}}(\alpha_{\text{дс1}})}{\eta_{\text{ку}} \cdot Q_{\text{ку}}}. \quad (22)$$

Додатковий вихід товарної меляси, %:

$$\Delta\text{M}_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \{ \Delta\text{CX}_{\text{м}}(\alpha_{\text{дс1}}) + \Delta\text{CX}_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}}) - [X_0 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})] \} / \text{CP}_{\text{мт}}, \quad (23)$$

де $\text{CP}_{\text{мт}}$ — вміст сухих речовин у товарній мелясі, %.

Додатковий вихід товарного цукру, %:

$$\Delta\text{Ц}_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \Delta\text{CX}_{\text{бц}}(\alpha_{\text{дс1}}) / \text{CX}_{\text{бц}}, \quad (24)$$

де $\text{CX}_{\text{бц}}$ — вміст цукрози у білому цукрі, %.

Додаткова витрата вапняку та палива на його випалювання, %:

$$\Delta\text{ВК}(\alpha_{\text{дс1}}) = \text{K}_{\text{вк}} \cdot \Delta\text{CaO}(\alpha_{\text{дс1}}); \quad (25)$$

$$\Delta\alpha_{\text{п.вв}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \text{K}_{\text{п.вв}} \cdot \Delta\text{ВК}(\alpha_{\text{дс1}}), \quad (26)$$

де $\text{K}_{\text{вк}}$ — коефіцієнт перерахунку вапна у вапняк; $\text{K}_{\text{п.вв}}$ — питома витрата умовного палива на випалювання вапняку %.

Додатковий вихід товарного жому, %:

$$\Delta\text{Ж}_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{(\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}))^2}{\text{CP}_{\text{жт}} \cdot \int_2(\alpha_{\text{дс1}})}, \quad (27)$$

де $\int_2(\alpha_{\text{дс1}})$ — інтеграл Тешнера [4]:

$$\int_2(\alpha_{\text{дс1}}) = \left\{ -0,428 [X_0^5 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^5] + 4,0375 [X_0^4 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^4] - \dots \right. \quad (28)$$

$$\left. \dots - 15,5 [X_0^3 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^3] + 32,0 [X_0^2 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^2] + 48,2 [X_0 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})] \right\}.$$

Додаткова кількість нецукрів, що переходять в дифузійний сік, %:

$$\Delta\text{НС}_{\text{дс}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{(\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}))^2}{\int_2(\alpha_{\text{дс1}})} - \Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (29)$$

З використанням наведених вище залежностей розроблена і реалізована у системі символічної математики MathCAD комп'ютерна модель. Вона дозволяє визначити оптимальний відбір дифузійного соку і відповідну втрату цукрози у жомі залежно від інтенсивності теплових, гідродинамічних і хімічних процесів, що відбуваються під час процесу дифузії, а також від вартості продукції (цукру, жому і м'яси), палива для ТЕЦ, вапняку та палива для його випалювання.

За критерій оптимізації взята величина $\Delta\Pi(\alpha_{дс1})$, яка відповідає очікуваній зміні прибутку при переході на оптимальний режим роботи. Позначивши добутки у квадратних дужках виразу (16) відповідними прибутками від збуту продукції та найсуттєвішими видатками після переходу на режим роботи з оптимальним відбором дифузійного соку, отримуємо:

$$\Delta\Pi(\alpha_{дс1}) = \sum \Delta\Pi_i - \sum \Delta B = [\Delta\Pi_{ц}(\alpha_{дс1}) + \Delta\Pi_{м}(\alpha_{дс1}) + \Delta\Pi_{ж}(\alpha_{дс1})] - \dots \quad (30)$$

$$\dots - [\Delta B_{уп}(\alpha_{дс1}) + \Delta B_{пв}(\alpha_{дс1}) + \Delta B(\alpha_{дс1})].$$

Нижче наведені результати розрахунку за таких значень показників виробництва: $Dг=17,2\%$; дифузійна установка коритного типу; ϵ пресування жому ($b_{ж}=6,5\%$; $b_{ж1}=26\%$) і повернення жомопресової води у дифузійний апарат; $\alpha_{дс}=1,25$; $X_0=0,26\%$; $X_{01}=0,14\%$; $Ч_{дс}=86,9\%$. Ціни відповідають таким, що склалися на ринку у 2021 році.

Збільшення коефіцієнта відбору $\alpha_{дс1}$ (рис. 1) сприяє зменшенню втрат цукрози у жомі X_1 і екстракції додаткової кількості цукрози ΔX . За результатами розрахунку надходження цукрози у м'ясу ΔCX_M збільшується, а у білий цукор $\Delta CX_{бц}$ — збільшується лише до $\alpha_{дс1}=1,3$, а далі — перехід цукрози продовжується лише у м'ясу.

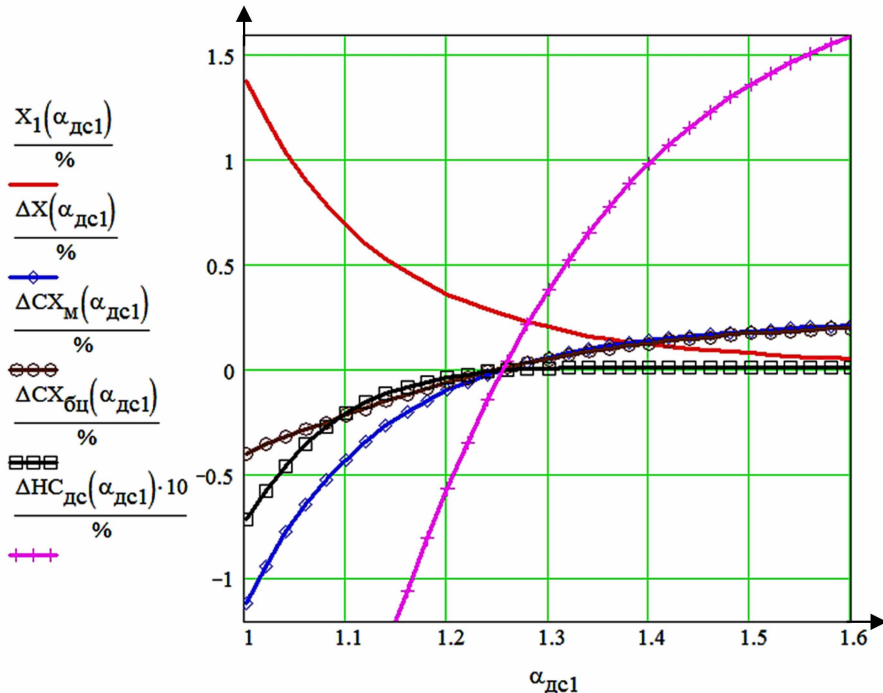


Рис. 1. Залежність основних показників екстракції та додаткової кількості цукрози, що перейшла в м'ясу і в білий цукор, від коефіцієнта відбору дифузійного соку

Зі збільшенням коефіцієнта відбору дифузійного соку $\alpha_{дс1}$ відбувається додатковий вихід меляси, а також додаткова витрата палива для парових котлів, вапняка і палива для його випалювання (рис. 2). Зміна додаткового виходу товарного цукру відповідає динаміці переходу додаткової кількості цукрози у білий цукор (рис. 1).

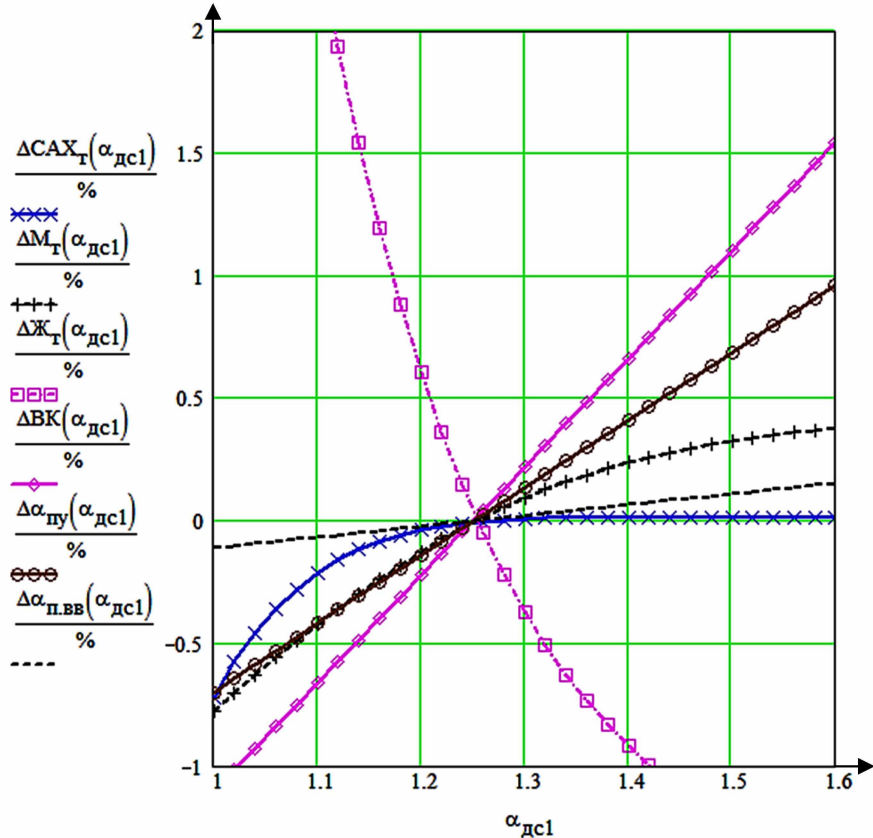


Рис. 2. Вплив коефіцієнта відбору дифузійного соку на зміну виходу продуктів виробництва і додаткову витрату палива та вапняку

На рис. 3 наведена залежність очікуваної зміни прибутку виробництва цукру $\Delta\Pi$ та його основних складових від коефіцієнта відбору дифузійного соку. Максимум функції $\Delta\Pi(\alpha_{дс1})$ відповідає коефіцієнту відбору $\alpha_{дс1} = 1,10$ і втратам цукрози в жомі $X_1 = 0,707\%$ (рис. 1), які для прийнятого режиму роботи є оптимальними. За таких умов очікувана зміна прибутку становить 48 грн/т буряку.

Модель дозволяє прогнозувати прибутковість виробництва цукру за зміни показників виробництва, що на них впливають, а також ринкових цін на вироблену продукцію, вапняк та енергоносії. У табл. 1 наведені розрахункові значення оптимального коефіцієнта відбору для прийнятих вище показників виробництва і зміни цін на білий цукор і природний газ.

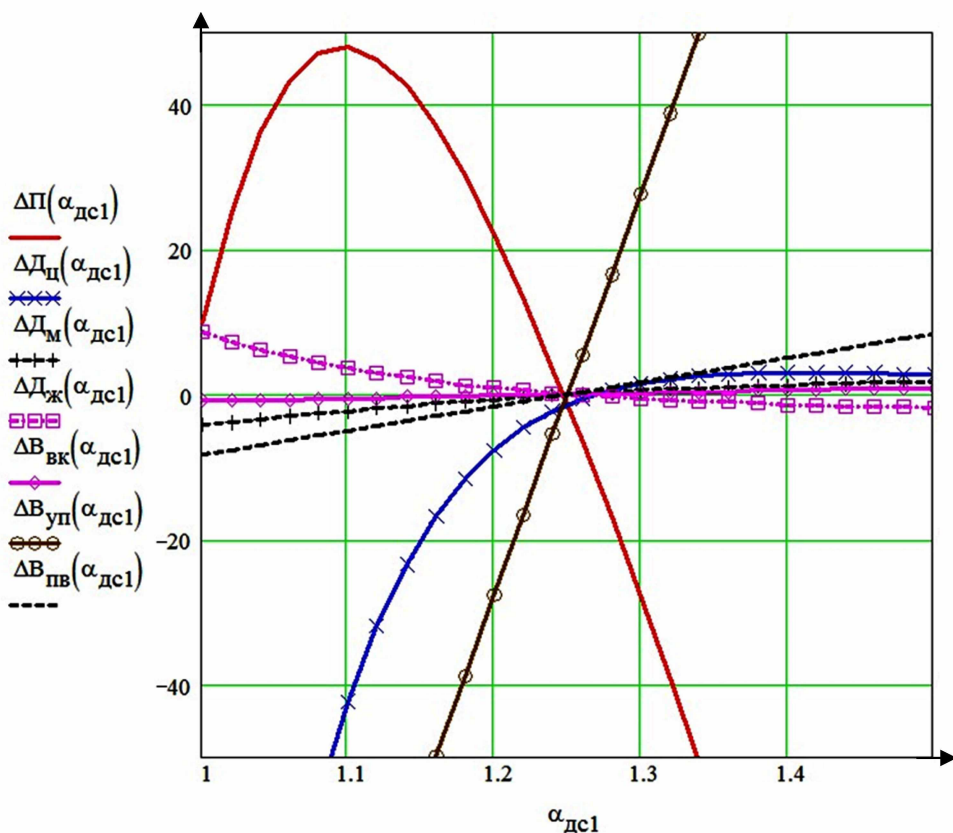


Рис. 3. Залежність очікуваної зміни прибутку виробництва цукру, його основних статей доходу і видатків, грн/т буряку, від коефіцієнта відбору дифузійного соку

Таблиця 1. Оптимальні значення коефіцієнта відбору дифузійного соку, кг дифузійного соку/кг буряку, за різних цін на природний газ і цукор

Ціна цукру, грн./т	Ціна природного газу, грн./тис. м ³								
	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500	30000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10000	1,09	1,07	1,05	1,04	1,02	1,01	—	—	—
12500	1,11	1,09	1,07	1,06	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00
15000	1,13	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03
17500	1,14	1,12	1,11	1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04
20000	1,15	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06
22500	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07
25000	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08
27500	1,18	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09
30000	1,18	1,17	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11	1,11	1,10

Для тих же умов виробництва очікувана зміна прибутку для прийнятих цін на цукор і природний газ наведена у табл. 2.

Таблиця 2. Очікувана зміна прибутку, грн/т буряку, за різних цін на природний газ і цукор

Ціна цукру, грн/т	Ціна природного газу, грн/тис. м ³								
	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500	30000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10000	28	40	53	67	83	99	117	135	154
12500	22	33	44	57	71	85	101	117	134
15000	18	27	38	49	61	75	89	103	119
17500	15	23	32	43	54	66	79	92	106
20000	12	20	28	38	48	59	71	83	96
22500	10	17	24	33	43	53	64	76	88
25000	8	14	21	29	38	48	58	69	81
27500	6	12	19	26	34	43	53	63	74
30000	5	10	16	23	31	39	48	58	68

Висновки. Розроблена модель дифузійного процесу та програма розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку і втрати цукрози у жомі. Новизна моделі полягає у представленні дифузійного процесу між буряковою стружкою і екстрагентом як масопровідності (утрудненої дифузії) у системах з твердою фазою. Такий підхід дозволяє враховувати додатково вплив наступних чинників: чистоту клітинного соку; структуру стружки; нелінійність масовіддачі від довжини ста грамів бурякової стружки; тривалість екстракції; пресування жому та повернення у дифузійний апарат потрібної кількості жомопресової води. За критерій оптимізації прийнято очікувану зміну прибутку виробництва цукру. Ця модель дає змогу прогнозувати прибутковість виробництва цукру з буряка залежно від техніко-економічних умов виробництва і кон'юнктури цін на товари, що впливають на доходи і видатки виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

- Schulze T. Low draft extraction towers Energy and loss aspects. / R. Hempelmann // 38th Biennial Meeting of the American Society of Sugar Beet Technologists. Clearwater Beach, Florida, USA 23—27 February 2015. — 2015. — P. 189—192.
- Schulze T. A look at technological and technical tower extraction trends / T. Schulze, A. Lehnberger, J. Pfauntsch, T. Frankenfeld // Sugar industry / Zuckerindustrie. — 2015. — (12). — P. 748—752.
- Коваль, Е. Т. Преобразованное универсальное уравнение процесса диффузии / Е. Т. Коваль, А. Я. Загоруйко, Я. Н. Таварткиладзе // Труды ВНИИСП // 1964. — Вып. 12. — С. 71—77.
- Тешнер Ф. Т. Возможности применения математических методов в сахарной промышленности. // «Libinsmittelindustrie» — 14. — 1967. — Н-8. — С. 297-299 и Н-9. — С. 340—342.
- Ерёмченко, Б. А. Оценка влияния величины откачки диффузионного сока на производственные показатели работы сахарного завода / Б. А. Ерёмченко, К. Ф. Гербут, А. Ф. Кравчук // Цукор України. — № 3. — 2001. — С. 18—20.
- Sotudeh-Gharebagh R. Modeling and Optimization of the Sugar Extraction Process / H. Shamekhi, N. Mostoufi, H. R. Norouzi // International Journal of Food Engineering. — 2009. — Vol. 5 Iss. 4, Art. 13 <http://www.bepress.com/ijfe/vol5/iss4/art13>. — DOI: 10.2202/1556-3758.1398.
- Валовой Б. Н. Комплексная оценка основных типов диффузионных установок свеклосахарного производства / С. Л. Филатов, С. М. Петров, Н. М. Подгорнова, В. И. Тужилкин // Сахар. — 2016. — № 11. — С. 24—31.
- Сінат-Радченко Д. С. Про коефіцієнт масопровідності бурякової стружки / М. М. Пушанко, С. М. Василенко, М. О. Масліков // Наукові праці УДУХТ. — 2001. — № 10, Ч. III. — С. 27—28.
- Гербут К. Ф. Програмний пакет для техніко-економічної оцінки роботи сокодобувного відділення цукрового виробництва / М. О. Масліков, М. О. Прядко, О. Т. Сторожук, Л. М. Хомічак // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво. — 1998. — № 1—2. — С. 37—38.

10. Масліков, М. О. Оптимальна відкачка дифузійного соку та її визначення / М. О. Масліков, М. М. Масліков // Наукові праці НУХТ. — 2003. — № 14. — С. 38—39.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТБОРА СОКА В ДИФFUЗИОННЫХ АППАРАТАХ НА ПРИБЫЛЬНОСТЬ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. О. Масликов, М. М. Масликов, В. П. Петренко, В. А. Бойко
Национальный университет пищевых технологий

В статье представлены результаты определения влияния отбора сока в диффузионных аппаратах на прибыльность свеклосахарного производства. Проведен анализ факторов, влияющих на эффективность высолаживания свекловичной стружки, потери сахара в жоме, переход в сок несхаристых веществ, а также сахарозы в белый сахар и в мелассу. Определены основные технико-экономические показатели производства, на которые оказывает существенное влияние изменение отбора диффузионного сока. Разработана модель процесса и программа расчета отбора диффузионного сока, при котором потери сахара в жоме оптимальны для конкретных условий производства. За критерий оптимизации принято ожидаемое изменение прибыли производства сахара. Эта модель позволяет определять значение оптимального коэффициента отбора диффузионного сока и прогнозировать прибыльность производства сахара из свеклы в зависимости от условий производства и конъюнктуры цен на товары, влияющие на доходы и издержки производства. Приведены примеры расчетов оптимального коэффициента отбора диффузионного сока и ожидаемого изменения прибыльности.

Ключевые слова: экстракция, массообмен, потери сахара, коэффициент отбора.