

Simulation of compression of juice chips mixtures in diffusive device

Dmytro Lyulka, Mykola Pushanko

National University of food technologies, Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

Keywords:

Diffusion
Chips
Juice
Pressure
Filtration

Article history:

Received 25.06.2013
Received in revised form
20.08.2013
Accepted 03.04.2013

Corresponding author:

Dmytro Lyulka
E-mail:
lulkadm@ukr.net

Introduction. Analyzed the distribution of pressure of juice chips mixtures and equations for determining the filter under compressive effort that moves the solid phase.

Materials and methods. Studied of juice chips mixtures in industrial diffusers, which is a two-phase system. It has beet chips and juice and is characterized by the specific content strand volume diffusion space.

Results. Resolved boundary value problem sealing layer of juice chips mixtures makes it possible to identify the impact of a number of factors on the distribution of pressure in the reservoir and the process of filtering the juice through a layer of chips and obtained the variation of pressure from time to time for any fixed section layer and the variation of pressure height layer for any fixed period of time. The equation describing the change in the parameters characterizing the state of juice chips mixtures at different stages of her life in vehicles. Pressure distribution in of juice chips mixtures under operating systems of transport in devices of different types affect the filtering ability of the chip layer and thus forms the temperature fields in the apparatus , since most of these chips is heated by heat transfer from the heated chips juice.

Conclusions. The results recommended using when developing new and upgrading of existing transport systems diffusion facilities and installations.

УДК 664.1.033.4

Моделювання процесу стискання сокостружкової суміші в дифузійних апаратах

Дмитро Люлька, Микола Пушанко

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ

Вилучення цукрози із бурякової стружки методом екстрагування в дифузійних апаратах безперервної дії пов'язане з утворенням сокостружкової суміші з різним вмістом твердої фази. Структурно-механічні властивості таких сумішей впливають на характер протитечійного переміщення твердої фази і фільтраційну здатність шару суміші, яка змінюється при зміні тисків на неї робочими органами транспортних систем.

Матеріали і методи

Досліджували сокостружкову суміш в промислових дифузійних апаратах, яка являє собою двохфазну систему. Вона складається з бурякової стружки та соку і характеризується величиною питомого наповнення стружкою об'єму дифузійного простору. У апаратів різних типів ця величина різна і коливається в межах 400...850 кг/м³. Тверда фаза суміші складається з окремих стружинок і має пористу структуру через яку фільтрується рідка фаза (сік). В процесі роботи дифузійного апарату сокостружкова суміш піддається механічному впливу різної інтенсивності, що значно впливає на процес екстрагування. Для оцінки цього впливу і визначення ефективності процесу необхідно визначити локальний напрямок руху рідини в апараті, адже величина силового впливу перед робочим органом і після нього різна. Це можливо лише у випадку, якщо відомі розподіл тиску навколо транспортуючих елементів при їх переміщенні в сокостружковій суміші, фільтраційні характеристики середовища.

Для виявлення впливу розподілу тиску в шарі сокостружкової суміші на його фільтраційну здатність використаємо метод математичного моделювання процесу стискання пористого середовища.

Результати та обговорення

Для побудови математичної моделі процесу стискання сокостружкової суміші зробимо наступні припущення:

- шар бурякової стружки повністю насичений соком, стан якого в порах вважається вільним, нестисненим і гідравлічно неперервним;
- шар стружки приймається лінійно деформованим, напруження в якому миттєво викликають його деформації;
- шар стружки не структурований і зовнішній тиск, що прикладається до нього, моментально повністю передається на сік;
- фільтрація соку в порах шару стружки повністю підкоряється закону Дарсі.

Приймаємо, що в початковий момент часу сокостружкова суміш знаходиться в статичному стані, тобто тиск соку в порах стружки рівний нулю.

Зовнішній тиск, прикладений до виділеного об'єму сокостружкової суміші буде:

$$P = P_{II} + P_C, \quad (1)$$

де P_{II} – надлишковий тиск в порах;
 P_C – тиск, що передається на частинки бурякової стружки.

З формули (1) виходить, що для будь-якого моменту часу на будь-якій глибині шару сума тиску в поровому соці і тиску, що передається на бурякову стружку, дорівнює зовнішньому тиску.

В перший момент часу τ_1 зовнішній тиск P повністю передається на поровий сік, але в наступні проміжки часу тиск в соці P_c зі зміною гідростатичного тиску H буде зменшуватись, а тиск, що діє на стружку P_{II} , зростати до тих пір, поки не стане рівним зовнішньому тиску (рис. 1).

Для елементарного шару dx на глибині x в об'ємі сокостружкової суміші збільшення вмісту соку q дорівнює зменшенню пористості шару n :

$$\frac{\partial q}{\partial x} = -\frac{\partial n}{\partial t}, \quad (2)$$

де q – витрата соку в напрямку x ;
 n – об'єм соку в міжстружковому просторі шару dx .

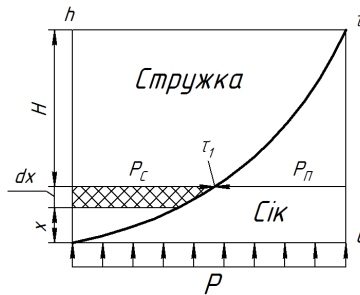


Рис. 1. Схема стискування сокостружкової суміші

Залежність (2) являє собою умову нерозривності руху соку в шарі сокостружкової суміші. За законом фільтрації Дарсі для випадку направлено руху соку (вздовж осі x) отримаємо:

$$q = -k_\phi \cdot \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (3)$$

де k_ϕ – коефіцієнт фільтрації;
 H – напір в соці.
 Звідси:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = -k_\phi \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Приймаючи до уваги, що напір в соці H дорівнює тиску в соці P_c , розділеному на його густину ρ_{II} і, врахувавши рівняння (1), отримаємо:

$$P_{II} = P - P_c, \quad H = \frac{P_{II}}{\rho_{II}}, \quad H = \frac{P - P_c}{\rho_{II}},$$

звідки:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = -\frac{1}{\rho_{II}} \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2}.$$

З врахуванням (4) маємо:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{k_{\Phi}}{\rho_{II}} \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Для перетворення правої частини рівняння (2) введемо поняття коефіцієнта пористості шару сокостружкової суміші e , яке визначимо через:

$$e = \frac{n}{m}, \quad (6)$$

тоді:

$$n + m = 1. \quad (7)$$

З виразів (6) і (7) отримуємо:

$$n = \frac{e}{1+e}, \text{ і } \frac{\partial n}{\partial t} \approx \frac{1}{1+e_{cep}} \cdot \frac{\partial e}{\partial t}. \quad (8)$$

Тут в знаменнику виразу (8) нехтуємо зміною e в порівнянні з одиницею і приймаємо деяке e_{cep} .

Введемо також коефіцієнт стисливості шару m_0 , який дорівнює відношенню зміни коефіцієнта пористості до діючого тиску:

$$m_0 = \frac{e_0 - e_i}{P_{Ci}}. \quad (9)$$

Для якогось проміжного значення P_{Ci} маємо:

$$e_i = e_0 - m_0 \cdot P_{Ci}, \quad (10)$$

де e_0 – початковий коефіцієнт пористості.

Диференціюючи рівняння (10) по t , отримаємо:

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -m_0 \cdot \frac{\partial P_C}{\partial t}.$$

Отже:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{m_0}{1+e_{cep}} \cdot \frac{\partial P_C}{\partial t}. \quad (11)$$

Тоді рівняння (2) можна записати з врахуванням (5) і (11) у вигляді:

$$\frac{k_{\phi} \cdot (1 + e_{cep})}{m_0 \cdot \rho_{II}} \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2} = \frac{\partial P_C}{\partial t}.$$

Позначивши множник в лівій частині через a , отримаємо в кінцевому вигляді диференційне рівняння одновірної задачі фільтраційного ущільнення сокостружкової суміші:

$$\frac{\partial P_C}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2}, \quad (12)$$

де

$$a = \frac{k_{\phi} \cdot (1 + e_{cep})}{m_0 \cdot \rho_{II}}. \quad (13)$$

Величина a називається коефіцієнтом ущільнення, який відображає вихідні умови задачі по характеристиці ущільнення сокостружкової суміші і самого процесу фільтраційного ущільнення.

Вирішення крайової задачі фільтраційного ущільнення сокостружкової суміші. Для однозначного вирішення рівняння (12) доповнюємо його крайовими умовами стискання шару суміші товщиною $2h$ при двохсторонній фільтрації екстрагента (вгору і вниз) (рис. 2).

Вибираємо початок координат посередині шару. В цьому випадку функція $P_C(x, t)$ є парною відносно x для будь-якого фіксованого t , тому дана задача є симетричною і для неї при $x=0$ можна записати умову симетрії у вигляді (перша гранична умова):

$$\frac{\partial P_C(0, t)}{\partial x} = 0 \quad (14)$$

Оскільки розглядаємо фільтрацію соку через шар, то друга гранична умова при $x=h$ може бути записана у вигляді:

$$P_C(h, t) = P = const, \quad (15)$$

бо сік вільно виходить через фільтрувальну поверхню $x=h$. За початкову умову задачі приймемо положення про те, що в момент часу $t=0$ по глибині шару було рівномірно розподілений ущільнюючий тиск $P_0=const$:

$$P_C(x, 0) = P_0 = const. \quad (16)$$

Тоді, крайова задача може бути сформульована у вигляді:

$$\frac{\partial P_C(x, t)}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 P_C(x, t)}{\partial x^2}, \quad (t > 0, -h \leq x \leq h), \quad (17)$$

$$\frac{\partial P_C(0, t)}{\partial x} = 0, \quad (18)$$

$$P_C(h, t) = P = const, \quad (19)$$

$$P_C(x, 0) = P_0 = const. \quad (20)$$

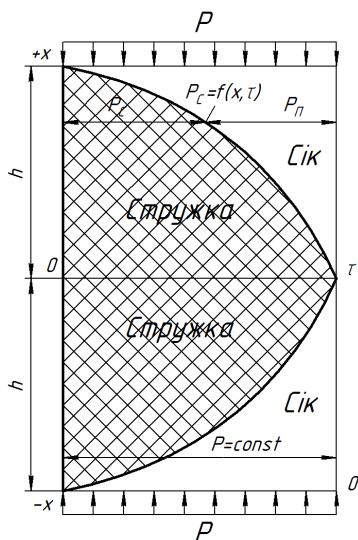


Рис. 2. Стискання шару суміші при двохсторонній фільтрації екстрагенту

Вирішення задачі проведемо методом розділення змінних (методом Фур'є). Часткове вирішення рівняння (17) подамо у вигляді добутку функцій, кожна з яких залежить тільки від одного аргументу x або t :

$$P_c(x, t) = c \cdot \theta(t) \cdot \psi(x), \quad (21)$$

Підставимо вираз (21) в (17):

$$\theta_t(t) \cdot \psi(x) = a \cdot \theta(t) \cdot \psi_{xx}(x),$$

звідки:

$$\frac{\theta_t(t)}{\theta(t)} = a \cdot \frac{\psi_{xx}(x)}{\psi(x)}, \quad (22)$$

де:

$$\theta_t(t) = \frac{\partial \theta(t)}{\partial t}, \quad \psi_{xx}(x) = \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2}.$$

Вираз (22) повинен справджуватися при будь-яких значеннях x , t . Це можливо тільки в тому випадку, якщо права і ліва його частини дорівнюють деякій постійній величині:

$$\frac{\theta_t(t)}{\theta(t)} = F, \quad (23)$$

$$a \cdot \frac{\psi_{xx}(x)}{\psi(x)} = F. \quad (24)$$

Інтегруючи вираз (23), отримаємо:

$$\theta(t) = e^{F \cdot t} . \quad (25)$$

Так як при проходженні нескінченно великого проміжку часу ($t \rightarrow \infty$) величина $P_C(x, t)$ приймає кінцеве значення, а саме $P_C \rightarrow P = const$, отже, з фізичних міркувань величина F може бути тільки від'ємною. Оскільки величина F поки довільна постійна за числовим значенням, то можна прийняти $F = -a \cdot k^2$, де a – параметр диференційного рівняння (17), $a > 0$; k – деяка постійна, що визначається з граничних умов.

Тоді отримаємо:

$$\theta(t) = e^{-a \cdot k^2 \cdot t} , \quad (26)$$

а рівняння (24) може бути представлено у вигляді:

$$\psi_{xx}(x) + k^2 \cdot \psi(x) = 0 . \quad (27)$$

Вирішенням рівняння (27) в загальному вигляді буде вираз:

$$\psi(x) = A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx . \quad (28)$$

Тоді часткове вирішення рівняння фільтраційного ущільнення буде мати вигляд:

$$P_C(x, t) = (A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx) \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t} . \quad (29)$$

З умови симетрії (18) виходить, що:

$$\frac{\partial P_C(0, t)}{\partial x} = \lim_{x \rightarrow 0} (A \cdot k \cdot \cos kx - B \cdot k \cdot \sin kx) \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t} = A \cdot k \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t} = 0 ,$$

звідки $A=0$.

Задовольнимо другу граничну умову. Для спрощення розрахунку тимчасово приймемо $P=0$, тобто ущільнення проходить під дією сили тяжіння шару суміші.

Отже:

$$P_C(h, t) = B \cdot \cos(k \cdot h) \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t} = 0 ,$$

звідси виходить, що $\cos(k \cdot h) = 0$, тобто $k_n \cdot h = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2}$, отже $k_n = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{h}$,

де $n=1, 2, \dots$, а k має нескінченну кількість рішень. Отже, загальне вирішення являє собою суму всіх часткових вирішень:

$$P_C(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right] \cdot \exp \left[-(2 \cdot n - 1)^2 \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2} \right] \quad (30)$$

Постійні B_n знаходимо з початкової умови:

$$P_c(x, 0) = P_0 = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \cos k_n x. \quad (31)$$

Система функцій $\cos k_n x$ є ортогональною, тому:

$$I = \int_{-h}^h \cos(k_n x) \cdot \cos(k_m x) dx = \begin{cases} 0, m \neq n \\ h + \frac{\sin 2 \cdot k_n \cdot h}{2 \cdot k_n}, m = n \end{cases}; \quad (32)$$

оскільки нескладно показати, що:

$$I = \int_{-h}^h \cos^2(k_n x) dx = h + \frac{\sin 2 \cdot k_n \cdot h}{2 \cdot k_n}. \quad (33)$$

Використаємо формулу (32) для знаходження B_n . Помножимо обидві частини рівності (31) на $\cos k_m x$ і проінтегруємо в межах від $-h$ до h :

$$P_0 \int_{-h}^h \cos(k_m x) dx = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \int_{-h}^h \cos(k_n x) \cdot \cos(k_m x) dx.$$

З врахуванням (32) і (33) отримаємо:

$$\frac{2 \cdot P_0}{k_n} \cdot \sin k_n \cdot h = B_n \cdot \left(h + \frac{\sin 2 \cdot k_n \cdot h}{2 \cdot k_n} \right),$$

так як $k_n \cdot h = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2}$, то $\sin 2 \cdot k_n \cdot h = 0$.

Отже звідси:

$$B_n = \frac{2 \cdot P_0}{k_n \cdot h} \cdot \sin k_n \cdot h \quad (34)$$

Таким чином загальне вирішення даної задачі можна записати так:

$$P_c(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot P_0}{k_n \cdot h} \cdot \sin(k_n \cdot h) \cdot \cos(k_n \cdot h \cdot x) \cdot e^{-a \cdot k_n^2 \cdot t}, \quad (35)$$

або з врахуванням того, що $\sin k_n \cdot h = (-1)^{n-1}$ при $k_n \cdot h = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2}$ для (35) отримаємо:

$$\frac{P_c(x, t)}{P_0} = 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right] \cdot \exp \left[- (2 \cdot n - 1)^2 \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2} \right] \quad (36)$$

Якщо зовнішній тиск не дорівнює нулю, а дорівнює P , так як це виходить з умови задачі, то вирішення (3.36) можна записати у вигляді:

$$\frac{P - P_C(x, t)}{P - P_0} = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cdot \frac{4}{(2 \cdot n - 1) \cdot \pi} \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right] \cdot \exp \left[-(2 \cdot n - 1)^2 \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2} \right] \quad (37)$$

звідки:

$$P_C(x, t) = P - (P - P_0) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cdot \frac{4}{(2 \cdot n - 1) \cdot \pi} \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right] \cdot \exp \left[-(2 \cdot n - 1)^2 \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2} \right] \quad (38)$$

Для вирішення практичних задач обмежимося першим членом ряду, тобто прийемо $n=1$, звідси отримаємо:

$$P_C(x, t) = P - (P - P_0) \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2}} \quad (39)$$

У випадку прикладання великого зовнішнього тиску $P \gg P_0$ рівняння (39) прийме вигляд:

$$P_C(x, t) = P \cdot \left(1 - \frac{4}{\pi} \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2}} \right) \quad (40)$$

Отримане аналітичне рішення (40) крайової задачі ущільнення шару сокостружкової суміші дає можливість виявити вплив цілого ряду факторів на процес розподілу тиску в шарі і процес фільтрації соку через шар стружки.

З виразу (40) нескладно отримати закон зміни тиску P_C від часу для будь-якого фіксованого перерізу шару $x = h_1 = const$, $0 \leq h_1 \leq +h$:

$$P_C(h_1, t) = P \cdot (1 - A \cdot e^{-B \cdot t}) \quad (41)$$

де A і B – деякі постійні числа для даного значення.

Аналогічно можна отримати закон зміни тиску по висоті шару для будь-якого фіксованого проміжку часу $t=t_1$:

$$P_C(x, t_1) = P \cdot \left[1 - A_1 \cdot \cos \left(\frac{\pi \cdot x}{2 \cdot h} \right) \right] \quad (42)$$

де A_1 – деяке постійне число для даного значення t_1 .

З рівняння (1) можна визначити розподіл тиску в екстрагенті в будь-якому перерізі шару для будь-якого моменту часу при заданому зовнішньому навантаженню P , обравши перед цим значення P_C з виразу (40).

Отримане вирішення (40) дозволяє визначити швидкість фільтрації соку в будь-якому перерізі шару для будь-якого моменту часу.

З рівняння (5) виходить, що:

$$q = \frac{k_{\phi}}{\rho_{\Pi}} \cdot \frac{\partial P_C}{\partial x}$$

Таким чином, щоб визначити витрату соку (об'ємну швидкість фільтрації) необхідно про диференціювати по x рівняння (40). В результаті отримаємо:

$$q = \frac{k_{\phi}}{\rho_{\Pi}} \cdot P \cdot \frac{2}{h} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot h} \cdot x\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2 \cdot a}{4 \cdot h^2} \cdot t} \quad (43)$$

З рішення (40) видно, що зміни фізико-механічних властивостей сокоотружкової суміші, які враховані параметром a , впливають на розподіл тисків P_C і P аналогічно зміні тривалості процесу.

Висновки

Одержані рішення описують перебіг зміни параметрів, що характеризують стан сокоотружкової суміші на різних етапах її перебування в апаратах. Визначальний характер розподілу тисків в сокоотружковій суміші під дією робочих органів транспортних систем в апаратах різних типів впливає на фільтраційну здатність шару стружки і відповідно формує температурні поля в апаратах, оскільки в більшості з них нагрівання стружки відбувається за рахунок передачі тепла стружці від нагрітого соку.

На основі отриманих результатів математичного моделювання процесу стискання пористого середовища можна проводити профілювання робочої поверхні елементів транспортних при розробленні нових та модернізації існуючих промислових екстракторів різних типів і продуктивності.

Література

1. Bosse D., Reinhold H. Tower 2000 - A new tower extraction concept / Zuckerindustrie. – 1999. – Vol. 124, Nr. 5. – Pp. 396-400.
2. Göddertz L. Developments in tower extraction: a new dimension / Zuckerindustrie. SugarIndustry. – 2001. – Vol. 126, Nr. 10. – Pp. 812-815.
3. Василяка А., Верхола Л., Ладановский М. Пути повышения тепловой и технологической эффективности диффузионных установок/ Сахар и свекла, 2011 г., №1, –С. 22-24.
4. Joanna Kawa-Rygielska, Witold Pietrzak, Piotr Regiec, Piotr Stencel. Utilization of concentrate after membrane filtration of sugar beet thin juice for ethanol production / Bioresource Technology, Volume 133, 2013, Pp. 134-141
5. Nigel Day. Why centrifuges play an important role in the production of sugar / Filtration & Separation, Volume 41, Issue 8, October 2004, Pp. 28-30
6. Sobczyński J. Ocena eksploatacji instalacji ekstraktora korytowego współpracującego z zapparzalnikiem w Cu krowni Miejska Górka / Gazeta Cukrownicza – 2010 – 4 – Pp. 103–105.
7. Верхола Л.А., Пушанко Н.Н. Гидродинамические процессы в колонных диффузионных установках / Цукор України – 2008. –№6. –С. 33-41.
8. Люлька Д.Н., Серегин А.А. Зависимость интенсивности массоотдачи в системе «свековичная стружка – диффузионный сок» от конструкции транспортных систем колонных диффузионных аппаратов / Сахар, 2010 г., №3, –С. 47-48.

9. Пушанко М.М., Парахоня А.М. Розподіл питомого навантаження стружки в об'ємі колонних дифузійних апаратів / Цукор України – 2012. – №9. – С. 12-16.
10. Houcine Mhemdi, Olivier Bals, Nabil Grimi, Eugène Vorobiev. Filtration diffusivity and expression behaviour of thermally and electrically pretreated sugar beet tissue and press-cake / *Separation and Purification Technology*, Volume 95, 2012, Pp. 118-125
11. M. Loginov, K. Loginova, N. Lebovka, E. Vorobiev. Comparison of dead-end ultrafiltration behaviour and filtrate quality of sugar beet juices obtained by conventional and “cold” PEF-assisted diffusion / *Journal of Membrane Science*, Volume 377, Issues 1–2, 2011, Pp. 273-283
12. Крамар В.Г. Вдосконалення пресово-дифузійної технології сокодобування в цукровому виробництві. автореферат дисертації кандидата технічних наук, спец. 05.18.12. - К., 2003.
13. Goots V., Gubenia O., Lukianenko B. Modeling of cutting of multilayer materials / *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies*. – Vol. 2. – Is. 3. Pp. 294-298.

References

1. Bosse D., Reinhold H. Tower (1999), 2000 - A new tower extraction concept, *Zuckerindustrie*, 124(5), pp. 396-400.
2. Göddertz L. (2001). Developments in tower extraction: a new dimension, *Zuckerindustrie, SugarIndustry*, 126(10), pp. 812-815.
3. Vasilyaka A., Verkhola L., Ladanovskiy M. (2011), Puti povysheniya teplovoy i tekhnologicheskoy effektivnosti diffuzionnykh ustanovok, *Sakhar i svekla*, 1, pp. 22-24.
4. Joanna Kawa-Rygielska, Witold Pietrzak, Piotr Regiec, Piotr Stencel. (2013), Utilization of concentrate after membrane filtration of sugar beet thin juice for ethanol production, *Bioresource Technology*, 133, pp. 134-141.
5. Nigel Day (2004), Why centrifuges play an important role in the production of sugar, *Filtration & Separation*, 41(8), pp. 28-30.
6. Sobczyński J.(2010), Ocena eksploatacji instalacji ekstraktora korytowego współpracującego z zaparzalnikiem w Cukrowni Miejska Górka, *Gazeta Cukrownicza*, 4, pp. 103–105.
7. Verkhola L.A., Pushanko N.N. (2008), Gidrodinamicheskie protsessy v kolonnykh diffuzionnykh ustanovkakh, *Tsukor Ukrainy*, 2008, 6, pp. 33-41.
8. yulka D.N., Seregin A.A. (2010), Zavisimost' intensivnosti massootdachi v sisteme «sveklovichnaya struzhka – diffuzionny sok» ot konstruksii transportnykh sistem kolonnykh diffuzionnykh apparatov, *Sakhar*, №3, pp. 47-48.
9. Pushanko M.M., Parakhonia A.M. (2012), Rozpodil pytomoho navantazhennia struzhky v ob'єmi kolonnykh dyfuziinykh aparativ, *Tsukor Ukrainy*, 9, pp. 12-16.
10. Houcine Mhemdi, Olivier Bals, Nabil Grimi, Eugène Vorobiev (2012), Filtration diffusivity and expression behaviour of thermally and electrically pretreated sugar beet tissue and press-cake, *Separation and Purification Technology*, 95, 2012, pp. 118-125.
11. M. Loginov, K. Loginova, N. Lebovka, E. Vorobiev (2011), Comparison of dead-end ultrafiltration behaviour and filtrate quality of sugar beet juices obtained by conventional and “cold” PEF-assisted diffusion, *Journal of Membrane Science*, 377(1–2), pp. 273-283.
12. Kramar V.H. (2003), *Vdoskonalennia presovo-dyfuziinoi tekhnologii sokodobuvannia v tsukrovomu vyrobnytstvi. Avtoferat dysertatsii kandydata tekhnichnykh nauk*, 05.18.12, Kyiv.
13. Goots V., Gubenia O., Lukianenko B. (2013), Modeling of cutting of multilayer materials, *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies*, 2(3), pp. 294-298.