

## Дослідження процесу ультрафільтраційного очищення інвертованого бурякового екстракту

О.І. Сизоненко, Ю.Г. Змієвський, І.О. Крапивницька\*, В.Г. Мирончук

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

\*Corresponding author. E-mail: eos\_irina@mail.ru

Paper received 20.03.15; Accepted for publication 08.04.15.

**Анотація.** Досліджено основні технологічні умови проведення ультрафільтраційного очищення інвертованого бурякового екстракту на установці непроточного типу та мембранах УПМ-10 та УПМ-50. Встановлено, що для очищення інвертованого бурякового екстракту від несахарів раціонально використовувати мембрану УПМ-10, тому що у порівнянні з мембраною УПМ-50 вона має вищу селективність за сухими речовинами на 29-34 % та за білком на 5,5-6,4 %, при незначній різниці зниження продуктивності мембрани під час процесу очищення.

**Ключові слова.** ультрафільтрація, інвертований буряковий екстракт, сахароза

**Вступ.** Активне впровадження мембранних процесів в харчову промисловість пов'язано з можливістю розділяти розчини на молекулярному рівні, зберігаючи при цьому нативний стан цінних компонентів. Найбільш поширені баромембранні процеси: мікро-, ультрафільтрація, зворотній осмос, рушійною силою яких є різниця тиску. У цукровій промисловості ці технології практично не застосовуються, що пов'язано з великими обсягами виробництва та недостатньою кількістю наукових досліджень у цій області. Однак, відомі роботи, в яких описано, як ультрафільтрацією очищали від нецукрів дифузійні соки, отримані, як з тростини [1, 2], так і цукрового буряка [3-5]. Це дозволило знизити кольоровість і каламутність розчинів до 60 і 78% відповідно [1, 3, 4], при цьому спостерігалася низька селективність

мембран по сахарозі – від 6,74 до 17,68% [2], що робило втрати цільового компонента з концентратом не більшими. Для отримання високого ступеня очищення такого соку, необхідно його обробляти не тільки ультрафільтрацією, але і доочишувати адсорбентами або іонообмінними смолами [1].

Невивченим залишалось застосування ультрафільтрації в технологіях отримання цукрових сиропів, призначених для застосування в харчовій промисловості. Тому метою даної роботи було експериментальне дослідження процесу ультрафільтрації для очищення зазначених розчинів від нецукрів.

**Матеріали і методи.** Параметри вихідного бурякового екстракту представлені в табл.1.

Таблиця 1. Параметри бурякового екстракту перед ультрафільтрацією

| Сухі речовини, % | Чистота, % | Концентрація сахарози, % | pH  | Кольоровість, од.опт. густ. | Концентрація білків, % |
|------------------|------------|--------------------------|-----|-----------------------------|------------------------|
| 14,5             | 88,5       | 13,3                     | 4,7 | 2922                        | 0,454                  |

Очищення цукрових сиропів здійснювали на баромембранній лабораторній установці непроточного типу з ефективною площею мембран  $1,38 \cdot 10^{-3}$  і  $3,42 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup> на мембранах марок УПМ-10 та УПМ-50 виробництва ПАТ НТЦ «Владіпор» (Російська Федерація). Установа має теплову сорочку, в яку подається з термостата дистильована вода із заданою температурою. Їх принцип дії детально описаний у роботі [6]. Температура розчинів при проведенні першої серії експериментів (залежність питомої продуктивності і селективності мембран від тиску) була в межах  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ .

**Розрахункові формули.** Питому продуктивність  $J$  (дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год)) і селективність  $R$  (%) мембран розраховували за наступними формулами [7]:

$$J = \frac{3600 \cdot V}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм очищеного розчину (пермеату), дм<sup>3</sup>, одержуваний за час  $\tau$ , с;  $S$  – ефективна площа мембрани, м<sup>2</sup>.

$$R = \left( 1 - \frac{C_p}{C_r} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

де  $C_p$ ,  $C_r$  – вміст компоненту в пермеаті та концентраті відповідно, г/дм<sup>3</sup>.

**Результати і обговорення.** Полімерні мембрани в перші години роботи під дією тиску ущільнюються, що призводить до зниження їх питомої продуктивності.

Щоб це явище не відбивалося на кінцевих результатах, нові мембрани були відпресовані протягом 2 год шляхом фільтрування крізь них дистильованої води при тиску 0,8 МПа. Далі в установку заливали 100 мл соку і встановлювали в камері необхідний тиск. Для стабілізації потоку пермеата, перші 5 мл зливали, далі відбирали 6 проб по 5 мл, заміряючи час відбору кожної проби. Розраховували питому продуктивність мембран за формулою 1, на графіках зображували середнє значення. Далі сік зливали, установку промивали дистильованою водою і 2% розчином лимонної кислоти, після чого заливали нові 100 мл соку і продовжували дослідження згідно з планом.

На першому етапі досліджень використовували дві ультрафільтраційні мембрани (УПМ-10 та УПМ-50) з різною відсікаючою здатністю за молекулярною масою (10 і 50 кДа відповідно). На рис. 1 представлена залежність їх питомої продуктивності від тиску.

Видно, що для мембрани УПМ-50 максимальний потік пермеата спостерігався при 0,3 МПа, а для УПМ-10 він залишався незмінним у всьому дослідженому діапазоні тисків. У першому випадку мембраною затримувалися фракції крупніше розміром, які формували більш "пухку" динамічну мембрану, що на першому етапі призводило до підвищення  $J$  пропорційно рушійній силі. Однак, більш високі значення тиску (0,5 МПа і вище) скоріше всього сприяли ущільненню динаміч-

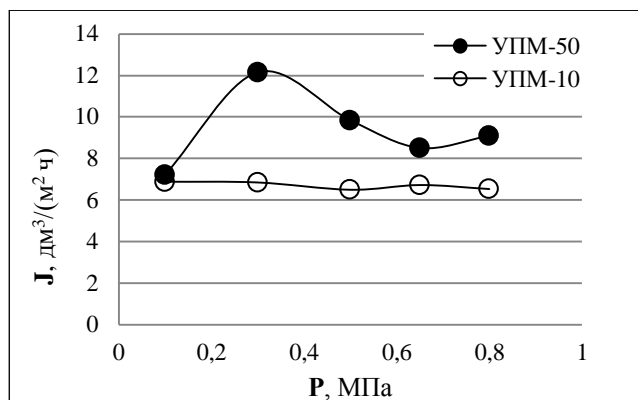


Рис. 1. Залежність питомої продуктивності мембран УПМ-10 та УПМ-50 від тиску.

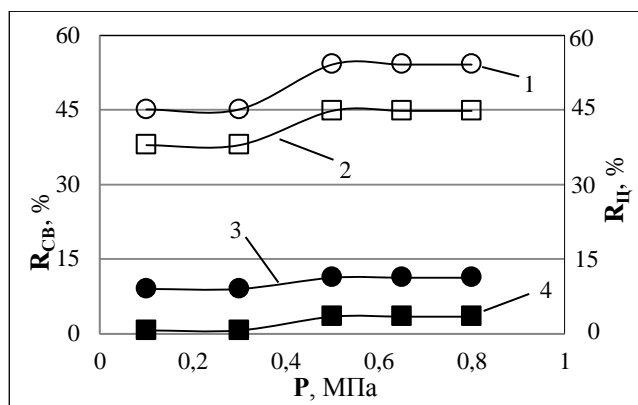


Рис.2. Залежність селективності мембран УПМ-10 (прозорі символи) і УПМ-50 (суцільні символи) за сухим речовинам (R<sub>св</sub>) (2 і 4) і сахарозі (R<sub>ц</sub>) (1 і 3) від тиску.

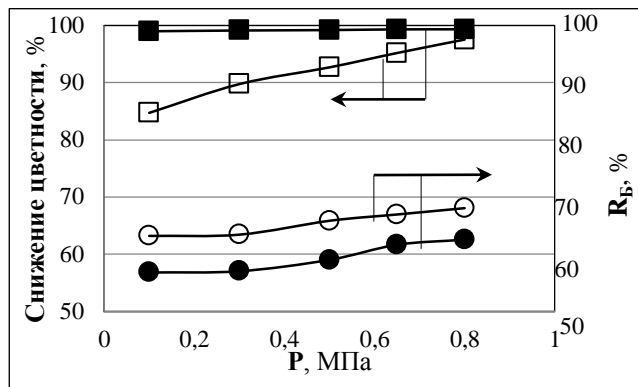


Рис. 3. Залежність зміни кольоровості соку цукрових буряків після ультрафільтрації та селективність по білковим з'єднанням (R<sub>Б</sub>) мембран УПМ-10 (прозорі символи) і УПМ-50 (суцільні символи) від тиску.

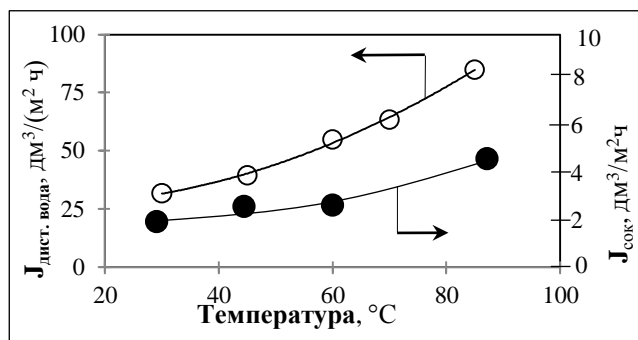


Рис. 4. Залежність питомої продуктивності мембрани УПМ-10 при ультрафільтрації дистильованої води і соку цукрового буряка. Тиск 0,1 МПа.

ної мембрани і можливо в якійсь мірі – полімерної. Для кожного тиску встановлювалася динамічна рівновага, коли кількість розчинених речовин, що підводяться до мембрани конвективним потоком, дорівнювала кількості речовин дифундуючих від її поверхні. Ущільнення динамічної мембрани в цих випадках відбувалася в перші хвилини експерименту у зв'язку із збільшенням рушійної сили і відповідно потоку в бік розділюючої перегородки. Можна припустити, що такі явища характерні і для мембрани УПМ-10. Однак, в цьому випадку біля мембрани накопичувалися фракції менших розмірів, які формували більш щільний динамічний шар. В обох, описаних вище, припущеннях не можна також відкинути можливе часткове закупорювання пор, що достатньо характерно для процесу ультрафільтрації.

Із рис. 2 та 3 видно, що для обох мембран селективність по сухим речовинам, сахарозі і білкам збільшувалася при 0,5 МПа, що також підтверджує ущільнення динамічного шару.

УПМ-50 затримує незначну частину сухих речовин, що може негативно позначитися на якості кінцевого продукту, незважаючи на те, що втрати сахарози з концентратом будуть мінімальні ( $R_{ц} = 9,02-11,28\%$ ). Зниження кольоровості пермеату порівняно з вихідним розчином, на перший погляд, має аномальний характер, тому що мембрана УПМ-10 затримує більшу кількість, як білкових сполук, так і сухих речовин в цілому. Пояснити такі результати можна таким зразком. Цей показник для пермеату, отриманих при поділі соку мембраною УПМ-50, визначали практично відразу після експерименту, в той час, як для пермеату після УПМ-10 - тільки через добу. Через такий проміжок часу спостерігалася помутніння пермеату після УПМ-50, що свідчить про окисленні різного роду несахаров. Слід зазначити, що обидві мембрани не здатні забезпечити повну очистку розчину від баластних сполук. З двох мембран краще справляється з цим завданням УПМ-10, незважаючи на більшу кількість сахарози, яка буде залишатися в концентраті. Цю проблему можна вирішити шляхом застосування діалізації [8] або використовувати отриманий концентрат для виробництва етанолу [9].

Одним із способів зниження енерговитрат на етапі згущення бурякового екстракту, очищеного ультрафільтрацією, є застосування зворотного осмосу [10], що дозволяє не тільки підвищити концентрацію сухих речовин, а й знизити більш ніж на 30 % витрати енергії [11], споживаної при згущенні. Таким чином, необхідно враховувати не тільки якість продукту, одержаного після ультрафільтрації, а й способи його подальшої обробки.

На рис. 4 представлена залежність питомої продуктивності від температури для дистильованої води і соку цукрового буряка. Обидві лінії мають однаковий характер. Величина  $J_{сик}$  практично в 10 разів менше, ніж  $J_{дист. вода}$ , що пов'язано з наявністю значної кількості розчинених речовин в соці (14,5 % сухих речовин). Як вже зазначалося, питома продуктивність з підвищенням температури збільшується в результаті зниження в'язкості розчину.

Фізико-хімічні показники бурякового екстракту після ультрафільтрації при різних температурах представлені в табл. 2.

**Таблиця 2.** Фізико-хімічні показники бурякового екстракту після ультрафільтрації при різних температурах

| Температура, °С | Сухі речовини, % | Концентрація сахарози, % | Кольоровість, од. опт. густ. | Концентрація білків, % |
|-----------------|------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|
| 30              | 9                | 7,5                      | 40,25                        | 0,167                  |
| 45              | 9                | 7,5                      | 40,3                         | 0,166                  |
| 60              | 9                | 7,5                      | 63,85                        | 0,155                  |
| 85              | 9                | 7,5                      | 87,06                        | 0,15                   |

Встановлено, що селективність по сухим речовинам і сахарозі не змінюється при нагріванні соку і дорівнює 37,93 і 43,61 % відповідно, відсоток зниження кольоровості зменшується від 98,62 до 97,02 %, селективність по білках збільшується від 63,22 до 66,96 % при підвищенні температури від 30 до 85°C. Це можна пояснити денатурацією білкових та інших органічних сполук під дією температури, що призводить до зміни їх фізико-хімічних властивостей і розмірів. Температура, яка перевищує 60°C також сприяє руйнуванню молекул сахарози, що може призвести до її додаткових втрат. Тому раціонально екстракт цукрового буряка розділяти ультрафільтрацією при температурі 60°C.

### Висновки

1. Встановлено, що при очистці ультрафільтрацією максимальне значення питомої продуктивності для мембран УПМ-50 досягається при 0,3 МПа і складає 12,2 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год), а для мембран УПМ-10 питома продуктивність с підвищенням тиску не змінюється і знаходиться на рівні 6,7 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год).
2. Для очищення інвертованого пектинового екстракту від несахарів раціонально використовувати мембрану УПМ-10, тому що у порівнянні з мембраною УПМ-50 вона має вищу селективність за сухими речовинами на 29-34 % та за білком на 5,5-6,4 %.

### REFERENCES

- [1] Hamachi, M., Gupta, B.B., Ben Aim, R. Ultrafiltration: a means for decolorization of cane sugar solution // Separation and Purification Technology. – 2003. – V. 30. – P. 229-239.
- [2] Bhattacharya, P.K., Agarwal, S., De, S., Rama Gopal, U.V.S. Ultrafiltration of sugar cane juice for recovery of sugar: analysis of flux and retention // Separation and Purification Technology. – 2001. – V. 21. – P. 247-259.
- [3] Seres, Z., Gyura, J., Eszterle, M., Djuric, M. Separation of non-sucrose compounds from syrup as a part of the sugar-beet production process by ultrafiltration with ceramic membranes // European Food Research and Technology. – 2006. – V. 223, № 6. – P. 829-835.
- [4] Hakimzadeh, V., Razavi, S.M.A., Piroozifard Mir Kh., Shahidi M. The potential of microfiltration and ultrafiltration process in purification of raw sugar beet juice // Desalination. – 2006. – V. 200. – P. 520-522.
- [5] Loginov, M., Loginova, K., Lebovka, N., Vorobiev, E. 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. – 2011. – V. 377. – P. 273-283.
- [6] Myronchuk, V.G., Grushevskaya, I.O., Kucheruk, D.D., Zmievskii, Yu.G. Experimental study of the effect of high pressure on the efficiency of whey nanofiltration process using an OPMN-P membrane // Petroleum Chemistry. – 2013. – V. 53(7). – P. 439-443.
- [7] Kilduff, J., Weber, W.J. Transport and separation of organic macromolecules in ultrafiltration processes // Environmental Science Technology. – 1992. – V. 26. – P. 569-577.
- [8] Duarte, R.M.B.O., Santos, E.B.H., Duarte, A.C. Comparison between diafiltration and concentration operation modes for the determination of permeation coefficients of humic substances through ultrafiltration membranes // Analytica Chimica Acta. – 2001. – V. 442. – P. 155-164.
- [9] Kawa-Rygielska, J., Pietrzak, W., Regiec, P., Stencel, P. Utilization of concentrate after membrane filtration of sugar beet thin juice for ethanol production // Bioresource Technology. – 2013. – V. 133. – P. 134-141.
- [10] Goncharuk, V.V., Osipenko, V.O., Balakina, M.N., Kucheruk, D.D. Water purification of nitrates by low-pressure reverse osmosis method // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2013. – V. 35 (2). – P. 71-75.
- [11] Madaeni, S.S., Zereski, S. Energy consumption for sugar manufacturing. Part I: Evaporation versus reverse osmosis // Energy Conversion and Management. – 2010. – V. 51(6). – P. 1270-1276.

### Investigation of main technological conditions of the ultrafiltration purification of inverted beet extract

**O. Syzonenko, Yu. Zmievskii, I. Krapyvnytska, V. Myronchuk**

**Abstract.** The main technological conditions of the ultrafiltration purification of inverted beet extract were investigated. Studies were conducted on the installation of periodic process with membranes of the types UPM-10 and UPM -50. Usage of membrane UPM-10 is better than membrane UPM-50 because the first one has a higher selectivity for solid substances by 29-34% and for the protein by 5,5-6,4% with negligible difference in reduced productivity of the membrane during the process of purification.

**Keywords:** ultrafiltration, inverted beet extract, sucrose