

Оптимізація загальних витрат вапна на очищення дифузійного соку при додатковому використанні активованої кремнієвої кислоти та фільтроперліту

Л.П. Рева, доктор технічних наук, професор кафедри технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій

С.А. Шульга, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій

14

При визначенні оптимальних витрат вапна на очищення дифузійного соку обрано узагальнений критерій оптимізації, в який закладено умову мінімізації загальних витрат вапна. Математичну обробку експериментальних даних здійснювали з використанням методу Харрінгтона, в результаті чого визначено оптимальні загальні витрати вапна для очищення дифузійного соку за типовим способом, а також з додатковим використанням активованої кремнієвої кислоти та фільтроперліту в процесі очищення дифузійного соку.

Ключові слова: очищення дифузійного соку, оптимізація загальних витрат вапна, математичне оброблення даних, активована кремнієва кислота (АК), фільтроперліт (ФП).

При определении оптимальных расходов извести на очистку диффузионного сока избран обобщенный критерий оптимизации, в который заложено условие минимизации общих затрат извести. Математическую обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием метода Харрингтона, в результате чего определены оптимальные общие расходы извести для очистки диффузионного сока по типовому способу, а также с дополнительным использованием активированной кремниевой кислоты и фильтроперлит в процессе очистки диффузионного сока.

Ключевые слова: очистка диффузионного сока, оптимизация общих затрат извести, математическое оброблення даних, активированная кремниевая кислота (АК), фильтроперлит (ФП).

In determining the optimal costs lime juice purification elected general optimization criterion in which the condition laid minimize total costs lime. Mathematical processing of experimental data was performed using the method Harrington, resulting in optimum overall costs for the cleaning of lime juice on a typical way, and with the additional use of activated silicic acid and filterperlite in the juice purification.

Keywords: cleaning diffusion juice, lime optimization

Останнім часом на фоні змін в технологіях вирощування, збирання та зберігання цукрових буряків має місце деяке збільшення вмісту в них окремих нецукрів та, як наслідок, погіршується якість отриманого дифузійного та очищеного соків.

В сучасній технології очищення дифузійного соку вапном та діоксидом вуглецю за рахунок коагуляції, осадження та адсорбції видаляються лише до третини присутніх у соку нецукрів (ВМС, аніонів кислот, барвних сполук тощо). Для вирішення проблеми підвищення ефективності процесів очищення дифузійного соку необхідно удосконалювати класичні способи вапняно-вуглекислотного обробки, а також використовувати нові нетрадиційні реагенти, розробляти більш досконаліші методи контролю процесів та підтримувати їх оптимальні режими [2].

Таким чином, перед сокоочисним відділенням цукрового заводу поставлена задача максимального ступеня видалення нецукрів, надання соку термостабільності, а також отримання гарних седиментаційно-фільтрувальних показників при раціональному мінімумі витрат вапна на очищення соку [6].

Одним з напрямів по удосконаленню класичних способів вапняно-вуглекислотного оброблення дифузійного соку є скорочення надлишку використовуваного вапна із заміною його частини більш дешевими сорбентами, а також активним введенням в технологію нетрадиційних реагентів (різних хімічних реагентів, коагулянтів, флокулянтів та ін.), застосування яких уже при одержанні дифузійного соку та наступному його очищенні надає можливість значно підвищити якість

соків, вихід цукрози при відповідному скороченні витрат вапна [11, 10]. Інший напрям, що відповідає найбільш ефективному використанню витраченого вапна за умови досягнення високих ефектів очищення соку, полягає у модернізації існуючих та розробці нових відносно нескладних, але науково-обґрунтованих технологічних процесів, що реалізуються у високоефективних апаратах. В теперішній час в галузевій вітчизняній та зарубіжній літературі нараховується більше 70 різних способів очищення дифузійного соку [3], для яких загальний ефект очищення не перевищує 40% [7]. Одним із реальних шляхів удосконалення технології очищення дифузійного соку є попередня коагуляція нецукрів, впровадження у виробництво нових ефективних реагентів, які здатні підвищити ефективність очищення. З метою удосконалення способу очищення дифузійного соку за типовою схемою для забезпечення більш повного видалення нецукрів (ВМС – білків, пектинів, катіонів деяких металів), утворення компактного та стійкого осаду в умовах основної дефекації та зменшення витрат вапна на очищення дифузійного соку були запропоновані способи додаткового очищення дифузійного соку з використанням активованої кремнієвої кислоти (АК) [9] та фільтроперліту (ФП) [8].

Способи додаткового очищення дифузійного соку з використанням АК [9] та ФП [8] дозволяють покращити якісні показники переддефектованого соку за рахунок додаткового вилучення із розчину білкових та пектинових речовин, підви-

щити швидкість осадження осаду, підвищується чистота очищеного соку. Це дасть можливість зменшити витрати вапна на очищення дифузійного соку.

Тому метою подальших досліджень було кількісне визначення загальних витрат вапна на очищення дифузійного соку за типовим способом та за способами з використанням активованої кремнієвої кислоти і фільтроперліту.

В результаті проведених експериментів були отримані залежності чистоти очищеного соку, а також вмісту аніонів кислот та забарвленості соку від загальних витрат вапна на очищення дифузійного соку (табл. 1) [4].

Усі результати проведених досліджень по встановленню оптимальних витрат вапна для очищення дифузійного соку за типовим способом, а також при використанні АК [9] та ФП [8] опрацьовано за допомогою пакету прикладних програм Mathcad Professional 2000.

Як основний фактор, який впливає на процес очищення дифузійного соку за цими трьома способами, приймали загальні витрати вапна. Інші фактори впливу приймали постійними.

Математичне оброблення експериментальних даних

Наступним важливим етапом є математичне оброблення одержаних експериментальних даних для встановлення оптимальних витрат вапна, з точки зору покращення якісних показників очищеного соку.

Для визначення ефективності очищення дифу-

Таблиця 1

Залежність чистоти очищеного соку, а також вмісту аніонів кислот та барвних сполук від витрат вапна на очищення дифузійного соку

| Витрати вапна | | Способи очищення дифузійного соку | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|---------------------------|-------------------------|--|---------------------------|-------------------------|--|---------------------------|
| % СаО до маси нецукрів | % СаО до маси буряків | Типовий спосіб-контроль | | | При використанні АК [9] | | | При використанні ФП [8] | | |
| | | Технологічні показники | | | | | | | | |
| | | Чистота, % | Вміст аніонів кислот, % СаО до маси СР | Забарвленість, од. ІСУМСА | Чистота, % | Вміст аніонів кислот, % СаО до маси СР | Забарвленість, од. ІСУМСА | Чистота, % | Вміст аніонів кислот, % СаО до маси СР | Забарвленість, од. ІСУМСА |
| 50 | 0,996 | 86,0 | 0,55 | 1300 | 86,8 | 0,52 | 1100 | 86,9 | 0,485 | 750 |
| 60 | 1,195 | 86,77 | 0,469 | 1133 | 87,55 | 0,41 | 897 | 87,8 | 0,36 | 536 |
| 70 | 1,394 | 87,45 | 0,416 | 987 | 88,29 | 0,34 | 715 | 88,75 | 0,292 | 365 |
| 80 | 1,593 | 88,0 | 0,372 | 881 | 88,8 | 0,314 | 666 | 89,1 | 0,265 | 273,6 |
| 90 | 1,792 | 88,28 | 0,34 | 794 | 88,95 | 0,302 | 655 | 89,34 | 0,259 | 245 |
| 100 | 1,991 | 88,5 | 0,33 | 777 | 89,0 | 0,299 | 648 | 89,41 | 0,254 | 232 |
| 110 | 2,19 | 88,57 | 0,327 | 770 | 89,02 | 0,295 | 643 | 89,45 | 0,249 | 226 |
| 120 | 2,389 | 88,58 | 0,325 | 765 | 89,04 | 0,29 | 640 | 89,5 | 0,245 | 220 |

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

зійного соку при різних витратах вапна (50...120% до маси нецукрів) було обрано такі локальні критерії (в натуральній формі) (де: x – загальні витрати вапна, % до маси нецукрів):

$f_1(X)$ – чистота очищеного соку, %;

$f_2(X)$ – вміст аніонів кислот, % CaO до маси CP;

$f_3(X)$ – забарвленість, од. ICUMSA.

Розроблення математичної моделі для розв'язання задачі оптимізації. Розв'язання задачі оптимізації передбачає розроблення математичної моделі для вираження залежності вихідних параметрів процесу від вхідних факторів [1]. Для розроблення математичної моделі було вирішено підібрати математичні рівняння для кожного критерію оптимальності, які б з найменшою похибкою описували його зміну з часом технологічного процесу.

За даними експерименту, залежність кожного з обраних локальних критеріїв оптимізації може бути представлена у вигляді (1):

$$y = \frac{a_0 \cdot x}{1 + a_1 \cdot \sqrt{x} + a_2 \cdot x} \quad (1)$$

Розрахунок та уточнення коефіцієнтів цих рівнянь здійснювали за допомогою пакету прикладних програм Mathcad Professional 2000, які, крім цього, включали розрахунок середньоквадратичної похибки, шляхом порівняння розрахункових значень з експериментальними.

В результаті були одержані наступні рівняння локальних критеріїв оптимізації (в натуральних значеннях факторів) (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10).

Типовий спосіб очищення дифузійного соку (контроль).

Залежність чистоти очищеного соку від загальних витрат вапна:

$$F_{Ч_1}(x) = \frac{0.105 \cdot x}{1 - 0.017 \cdot \sqrt{x} + 0.012 \cdot x} \quad (2)$$

Залежність вмісту аніонів кислот від загальних витрат вапна:

$$F_{An_1}(x) = \frac{-283.163 \cdot x}{1 + 38.047 \cdot \sqrt{x} + 2.002 \cdot x} \quad (3)$$

Залежність забарвленості від загальних витрат вапна:

$$F_{36_1}(x) = \frac{-0.123 \cdot x}{1 + 0.017 \cdot \sqrt{x} + 8.441 \cdot 10^{-4} \cdot x} \quad (4)$$

Спосіб очищення дифузійного соку з використанням АК [9].

Залежність чистоти очищеного соку від загальних витрат вапна:

$$F_{Ч_2}(x) = \frac{0.136 \cdot x}{1 - 0.026 \cdot \sqrt{x} + 0.012 \cdot x} \quad (5)$$

Залежність вмісту аніонів кислот від загальних витрат вапна:

$$F_{An_2}(x) = \frac{-580.73 \cdot x}{1 + 104.202 \cdot \sqrt{x} - 1.242 \cdot x} \quad (6)$$

Залежність забарвленості від загальних витрат вапна:

$$F_{36_2}(x) = \frac{-0.323 \cdot x}{1 + 0.062 \cdot \sqrt{x} - 1.367 \cdot 10^{-3} \cdot x} \quad (7)$$

Спосіб очищення дифузійного соку з використанням ФП [8].

Залежність чистоти очищеного соку від загальних витрат вапна:

$$F_{Ч_3}(x) = \frac{0.149 \cdot x}{1 - 0.028 \cdot \sqrt{x} + 0.012 \cdot x} \quad (8)$$

Залежність вмісту аніонів кислот від загальних витрат вапна:

$$F_{An_3}(x) = \frac{-767.102 \cdot x}{1 + 137.996 \cdot \sqrt{x} - 2.148 \cdot x} \quad (9)$$

Залежність забарвленості від загальних витрат вапна:

$$F_{36_3}(x) = \frac{-0.668 \cdot x}{1 + 0.083 \cdot \sqrt{x} + 2.567 \cdot 10^{-3} \cdot x} \quad (10)$$

Визначення узагальнених критеріїв оптимізації. Для того, щоб в процесі визначення оптимальних витрат вапна на очищення дифузійного соку узагальнити обрані критерії оптимізації єдиним кількісним показником, нами був обраний узагальнений критерій оптимізації [5]. Слід зазначити, що в узагальненій критерій оптимальності було закладено умову мінімізації загальних витрат вапна.

Перетворення локальних критеріїв оптимальності з натуральної в безрозмірну форму було здійснено за допомогою методу Харрінгтона [12] через визначення проміжних параметрів за допомогою функції бажаності. Нові, безрозмірні значення локальних критеріїв, що отримані за допомогою функції бажаності, змінюються від 0,01 до 0,99, тому, що в узагальненому критерій оптимізації вони будуть не чутливими при наближенні до 0 або 1. Діапазон 0,01...0,99 ділиться на п'ять інтервалів бажаності. Від 0,01 до 0,2 він відповідає поняттю «дуже погано», від 0,2 до 0,37 – «погано», від 0,37 до 0,63 – «задовільно», від 0,63 до 0,8 – «добре» і від 0,8 до 0,99 – «дуже добре». Інтервали бажаностей вибирались з урахуванням розрахованих значень локальних критеріїв оптимальності.

Значення локальних критеріїв оптимальності, відповідно до інтервалу (0,01...0,99) наведені в табл. 2.

Узагальнені критерії оптимізації для досліджуваних процесів мають вигляд (11), (12), (13):

Інтервали бажаностей локальних критеріїв оптимальності для процесу додаткового очищення дифузійного соку із застосуванням активованої кремнієвої кислоти

| Локальні критерії оптимальності | Значення бажаностей | |
|--|---------------------|-------|
| | 0,01 | 0,99 |
| <i>Типовий спосіб – контроль</i> | | |
| $f_1(X)$ чистота очищеного соку, % | 86,0 | 88,58 |
| $f_4(X)$ вміст аніонів кислот в очищеному соку, % СаО до маси СР | 0,55 | 0,325 |
| $f_7(X)$ забарвленість очищеного соку, од. ICUMSA | 1300 | 765 |
| X1 загальні витрати вапна, % СаО до м.б. | 120 | 50 |
| <i>Спосіб очищення дифузійного соку з використанням активованої кремнієвої кислоти [9]</i> | | |
| $f_2(X)$ чистота очищеного соку, % | 86,8 | 89,04 |
| $f_5(X)$ вміст аніонів кислот в очищеному соку, % СаО до маси СР | 0,52 | 0,29 |
| $f_8(X)$ забарвленість очищеного соку, од. ICUMSA | 1100 | 640 |
| X2 загальні витрати вапна, % СаО до м.б. | 120 | 50 |
| <i>Спосіб очищення дифузійного соку з використанням фільтроперліту [8]</i> | | |
| $f_3(X)$ чистота очищеного соку, % | 86,9 | 89,5 |
| $f_6(X)$ вміст аніонів кислот в очищеному соку, % СаО до маси СР | 0,485 | 0,245 |
| $f_9(X)$ забарвленість очищеного соку, од. ICUMSA | 750 | 220 |
| X3 загальні витрати вапна, % СаО до м.б. | 120 | 50 |

$$FF11_k = (YB1_k)^{0.4} \cdot (YB2_k)^{0.15} \cdot (YB3_k)^{0.15} \cdot (YB4_k)^{0.3} \quad (11)$$

$$FF21_k = (YB9_k)^{0.4} \cdot (YB10_k)^{0.15} \cdot (YB11_k)^{0.15} \cdot (YB12_k)^{0.3} \quad (12)$$

$$FF31_k = (YB5_k)^{0.4} \cdot (YB6_k)^{0.15} \cdot (YB7_k)^{0.15} \cdot (YB8_k)^{0.3} \quad (13)$$

Вагові коефіцієнти з урахуванням важливостей локальних критеріїв оптимізації вибрані такі: 0,4; 0,15; 0,15; 0,3.

Перший показник характеризує загальний ефект очищення соку, який зі збільшенням витрат вапна покращується. Також при цьому зменшується вміст аніонів кислот в очищеному соку та знижується його забарвленість.

Програма переведення натуральних значень

локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона, а також програма розрахунку оптимальних загальних витрат вапна в процесі очищення дифузійного соку виконані за допомогою пакету прикладних програм Mathcad Professional 2000.

Отримані залежності узагальненого критерію оптимальності представлені на рисунку 1 (а, б, в).

Висновки. В результаті математичної обробки експериментальних даних визначено оптимальні загальні витрати вапна для очищення дифузійного соку за типовим способом, а також з додатковим використанням активованої кремнієвої кислоти та фільтроперліту в процесі очищення дифу-

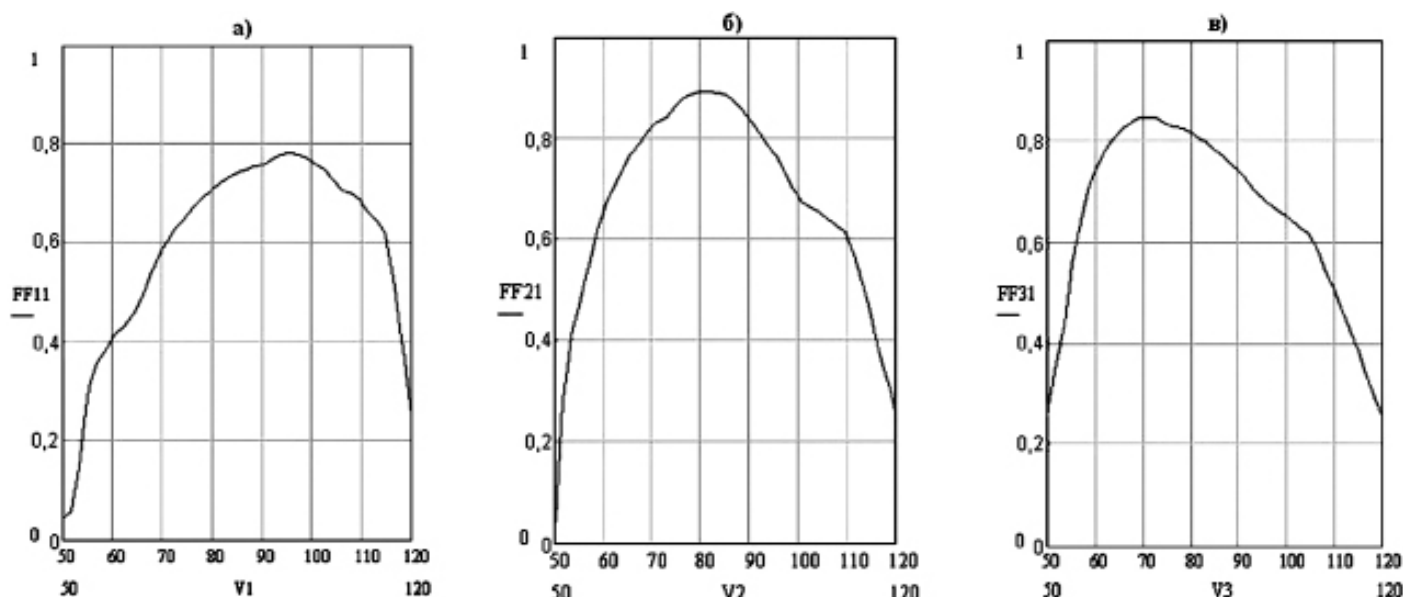


Рис.1. Залежність узагальненого критерію оптимізації від значення загальних витрат вапна для очищення дифузійного соку: а) за типовим способом; б) з використанням АК [9]; в) з використанням ФП [8].

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

зійного соку. Згідно розрахунків, враховуючи умови мінімізації, встановлено, що при очищенні одного і того ж дифузійного соку загальні витрати вапна склали 93,7% СаО – для звичайної типової схеми, 79,7% СаО – з використанням АК в цій же схемі та 69,2% СаО до маси нецукрів дифузійного соку – з використанням ФП і відповідно 1,9, 1,6 та 1,4% СаО до маси буряків. Таким чином, при використанні АК та ФП для додаткового очищення дифузійного соку є можливість зменшити загальні витрати вапна відповідно на 14 та 24,5% СаО до маси нецукрів (0,5 та 0,7% СаО до маси буряків) при забезпеченні високих якісних показників очищеного соку.

Перспективою подальших досліджень у даному напрямі є розроблення способів додаткового очищення дифузійного соку, які б дали можливість мінімізувати загальні витрати вапна на його очищення.

Список використаних джерел

1. *Аністратенко, В. О.* Математичне планування експериментів в АПК. / В. О. Аністратенко, В. Г. Федоров - К. : Вища школа, 1993. - 375 с.
2. *Бобровник, Л. Д.* Физико-химические основы очистки в сахарном производстве / Л. Д. Бобровник. - К. : Вища шк., 1994. - 255 с.
3. *Жура, К. Д.* Исследование влияния рН на пептизацию пектиновых веществ из свежей свеклы. / К. Д. Жура - Киев, 1957. - Вып.17.
4. *Замура, С. А.* Підвищення ефективності очищення соків та сиропу з використанням кремнієвмісних реагентів : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.05 / Замура Світлана Анатоліївна ; НУХТ. - К., 2002.

- 269 с.

5. *Кафаров, В.В.* Математическое планирование основных процессов химических производств. / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов - М. : Высшая школа, 1991. -400 с.

6. *Лосева, В.А.* Интенсификация очистки соков и сиропов в сахарном производстве / В. А. Лосева - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. -176 с.

7. *Лосева, В.А.* Способы повышения эффективности очистки сахарных растворов / В. А. Лосева - УДК 664.126.1.067.1, Обзорная информация. - Серия 23. - Выпуск 5. - М., 1985, 28 с.

8. *Патент 28959 UA, МПК C13D3/00 (2006).* Спосіб очищення дифузійного соку / Л. П. Рева, Н. М. Пушанко, С. А. Замура ; заявник Національний університет харчових технологій. - заявл. 07.09.2007 ; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21, 2007 р.

9. *Патент 33261 UA, МПК C13D3/00 (2006).* Спосіб очищення дифузійного соку / Л. П. Рева, Н. М. Пушанко, С. А. Замура ; заявник Національний університет харчових технологій. - заявл. 26.02.2008 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. №11, 2008 р.

10. *Рева, Л.П.* Ефективність використання нетрадиційних реагентів в технології очищення дифузійного соку / Л. П. Рева, Н. М. Пушанко // Матеріали науково-технічної конференції цукровиків України. - К.-2006. - С.194 - 196.

11. *Рева, Л.П.* Интенсифікація та оптимізація технологічних процесів очищення дифузійного соку/ Л. П. Рева, Н. М. Пушанко //Цукор України. - 2005. - №5. - С.23- 26.

12. *Федоров В. Г.* Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности. / В. Г. Федоров, А. К. Плесконос - М.: Пищ. пром-ть, 1980. - 240 с.

ЦІКАВІ НОВИНИ

Видатний хімік

Одного разу майбутній академік Петербурзької академії наук - прославлений російський хімік-органік Олександр Михайлович Бутлеров (1828-1886 рр.) разом з приятелем готував суміш для бенгальського вогню і несподівано вона вибухнула, обпаливши волосся юних експериментаторів.

Розлючений вихователь три дні поспіль ставив Сашу в кут з чорною дошкою на шиї. На ній для більшого приниження було великими літерами виведено крейдою: «Видатний хімік». Навряд чи знав тоді вихователь, що виявився пророком: в 23 роки, Бутлеров вже читав лекції в Казанському університеті, в 25 років - став доктором хімії та фізики, а в 32 роки - ректором університету. Він залишив після себе цілу наукову школу хіміків, багато з яких стали, як і він сам, гордістю науки.

Наукова діяльність Бутлерова була спрямована на створення і утвердження теорії будови органічних сполук.

Теорія Бутлерова пояснила явище ізомерії, дала можливість визначити будову органічних речовин і передбачити нові класи органічних сполук. Бутлеров добув полімер формальдегіду (1859), синтезував уротропін (1860), вперше добув штучну цукристу речовину (1861).

